

C H A P T E R

01

디지털 신호 처리의 개요

Introduction of Digital Signal Processing

■ 학습목표

- 신호와 시스템에 대한 개념을 정립할 수 있다.
- 아날로그 신호와 디지털 신호의 차이를 이해할 수 있다.
- 신호 처리란 무엇이고, 어떤 일을 하는지 이해할 수 있다.
- 디지털 신호 처리의 개념과 장단점을 알 수 있다.
- 신호를 취급할 때 필수적인 기초 개념들을 다질 수 있다.

■ 목차

1.1 서론	18
1.2 신호와 시스템	19
1.3 디지털 신호 처리	24
1.4 신호와 관련한 기초 개념	33
연습문제	38
MATLAB 실습	39



21세기의 시대적 아이콘은 디지털이다. 디지털 제품은 성능이 좋을 뿐만 아니라 싸고 편리하여 이제 디지털 기술이 없는 세상은 상상조차 할 수 없게 되었다. 이처럼 디지털 기술과 시스템이 보편적으로 보급되고 이용되면서, 디지털 기술의 바탕이자 핵심인 디지털 신호 처리의 필요성과 중요성은 더욱 주목받고 있다.

디지털 신호 처리(DSP) Digital Signal Processing는 이산 신호에 대해 컴퓨터와 같은 디지털 시스템을 이용하여 원하는 목적을 달성하도록 조작하는 작업이다. 1950년대 디지털 컴퓨터가 보급되면서 관심을 끌기 시작한 디지털 신호 처리는 1960년대 중·후반에 고속 푸리에 변환(FFT) Fast Fourier Transform이 발명되면서 새로운 신호 처리 방식으로 확실히 인식되었다.

그리고 1970년대 이후 마이크로 전자공학이 비약적으로 발전하면서 하드웨어 구현의 제약이 거의 사라지고 다양한 알고리즘의 개발이 촉진되었으며, 하드웨어와 소프트웨어를 결합하여 다양하고 융통성 있는 처리가 가능해짐에 따라 디지털 신호 처리의 우수성과 효용성이 극대화되었다. 그 결과 20세기 말부터 진행된 정보화 혁명의 흐름 속에서도 디지털 신호 처리는 굳건하게 자리 잡을 수 있었다. 앞으로도 디지털 신호 처리는 현재에 머물러 있지 않고 끊임없이 새로운 응용 분야가 생겨나고 신기술이 개발되고 발전하면서 계속 성장할 것이다.

이 장에서는 먼저 디지털 신호 처리의 바탕이 되는 신호와 시스템, 그리고 신호 처리의 개념에 대해 간단히 살펴보고, 디지털 신호 처리와 관련하여 전형적인 시스템의 구성, 장단점, 목적과 응용에 대해 알아본다. 마지막으로 이를 배우는 데 필요한 (신호와 관련된) 몇 가지 기초 개념을 익히도록 한다.

1.1 서론

- 디지털 기술이 시대의 대세가 된 이유를 이해한다.

1.2 신호와 시스템

- 신호와 시스템의 개념을 이해한다.
- 생활 속에서 접하는 신호와 시스템에는 어떤 것들이 있는지 알아본다.
- 신호의 형태와 표현 방법에 대해 살펴본다.
- 아날로그와 디지털 신호의 정의와 그 차이를 이해한다.
- 시스템의 표현과 구현 방법에 대해 살펴본다.
- 신호 처리의 개념과 이에 대한 조작들을 알아본다.
- 블록선도의 개념과 쓰임을 파악한다.

1.3 디지털 신호 처리

- 디지털 신호 처리의 개념과 아날로그 신호 처리와의 차이를 이해한다.
- 디지털 신호 처리 시스템의 구성과 각 구성부의 역할을 파악한다.
- 디지털 신호 처리의 장단점을 알아본다.
- 디지털 신호 처리의 목적에는 어떤 것들이 있는지 살펴본다.
- 디지털 신호 처리의 응용 분야를 알아본다.

1.4 신호와 관련한 기초 개념

- 정현파 신호와 관련하여 진폭, 위상, 주기, 주파수의 정의와 개념을 이해하고 상호간의 관계를 파악한다.
- 주파수와 신호 파형 사이의 관계를 이해한다.
- 위상과 시간축에서의 신호 이동과의 관련성을 파악한다.
- 신호의 에너지와 전력의 개념을 이해한다.
- 실효값의 정의와 개념을 이해한다.

MATLAB 실습목표

- MATLAB에 대해 살펴보고, 그 기능과 특징을 간략히 알아본다.
- 다양한 정현파 신호를 그려본다.
- 신호의 에너지와 전력을 계산해본다.

1.1 서론

21세기는 바야흐로 디지털 세상이다. 태블릿 PC, 스마트폰, 디지털 카메라, MP3 플레이어, HDTV 등 디지털 기술을 이용한 신제품들이 하루가 멀다고 쏟아져 나오고 있다. 1990년대 아날로그가 주류였던 20세기를 생각하면 그 변화의 양과 질, 그리고 속도에 놀라지 않을 수 없다. 과연 이처럼 짧은 시간에 디지털 기술이 세상의 변화를 이끌어 가는 대세가 될 수 있었던 이유는 무엇일까?

그 이유로 컴퓨터와 반도체의 발전 등과 같은 여러 요인을 들 수 있겠지만, 무엇보다도 **디지털 세계에서는 모든 대상(신호)을 단순히 숫자를 늘어놓은 것인 디지털 신호로 바꾸어 처리한다**는 점에 초점을 꼽을 수 있다. 이 때문에 적용 대상(문자, 음성, 이미지, 영상 등)을 구별할 필요 없이 서로 다른 형태의 신호를 하나의 틀에서 통합적으로 다룰 수 있을 뿐만 아니라, 신호의 조작이 더 단순하고 쉬워졌으며 훨씬 다양하게 신호를 처리할 수 있게 되었다.

아날로그 세상에서는 문서=타자기, 음악=오디오, 동영상=TV와 같이 신호나 정보의 형태에 따라 각기 다른 시스템이 필요했지만, 지금은 손 안의 스마트폰 하나로도 이 모든 일을 다 할 수 있게 되었고 경우에 따라서는 세 가지 일을 동시에 할 수도 있게 되었다. 게다가 스마트폰은 더 많은 부가 기능이 있음에도 불구하고 아날로그 시스템을 각각 다 갖추는 것보다 훨씬 싼 가격에 마련할 수 있지 않은가!

그리고 디지털 시스템으로 신호를 처리하면 하드웨어만으로 신호를 조작해야 하는 아날로그 신호 처리와는 달리, 소프트웨어의 힘을 빌려 하드웨어 단독으로는 할 수 없는 처리를 제공할 수도 있다. 이러한 장점들 때문에 실생활에서 접하는 대부분의 신호가 아날로그임에도 디지털로 처리하는 것이 더욱 확산되어 보편화되는 추세이며, 이에 따라 디지털 신호 처리 분야는 매우 빠르게 성장하고 있다.



[그림 1-1] 생활에서 사용되는 디지털 제품들

1.2 신호와 시스템

우리는 매일 의식하든 못하든 간에 다양한 형태의 수많은 신호에 둘러싸여 살아간다. 다른 사람들과 이야기를 나누고(음성), TV나 영화를 보기도 하고(영상), 컴퓨터를 비롯한 갖가지 장치(시스템)들을 다루면서 끊임없이 신호와 시스템을 접하게 된다. 이 절에서는 디지털 신호 처리를 배우기에 앞서, 기본 개념이라고 할 수 있는 신호와 시스템, 그리고 신호 처리에 대해 간략히 살펴보기로 한다.

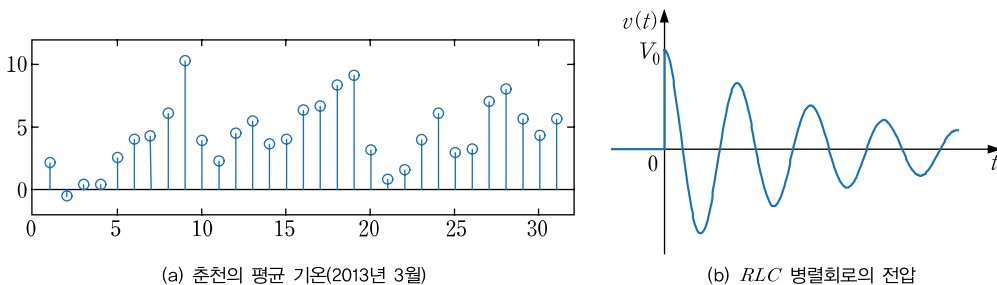
1.2.1 신호

다양한 신호들을 딱 한 마디로 정의하기란 쉽지 않지만, 공통적인 신호의 개념과 특성은 다음과 같이 정리할 수 있다.

신호(signal)는 물리량의 변화 형태를 담은 일련의 정보/자료의 집합이다.

- 신호는 다양한 물리적 현상의 동작 또는 성질을 표현한다.
- 신호는 수학적으로 한 개 이상의 독립 변수의 함수로 표현된다.
- 정보는 신호가 변화하는 양상 속에 담겨 있다.

[그림 1-2]에 나타난 월별 평균 기온이나 전기회로의 전압(또는 전류)은 신호의 한 예이며, 그 외에도 TV/라디오 방송전파, 심전도(ECG), 뇌전도(EEG), 강우량 등은 생활에서 접하는 신호들이다. 신호가 중요한 까닭은 정보나 의사를 전달할 수 있는 수단이기 때문이다. 예를 들어 일기예보는 지역별로 기온, 풍속, 강우량 등에 관해 상세하게 알려줌으로써 주말에 외부 활동을 할 것인지 결정하는데 도움을 준다.



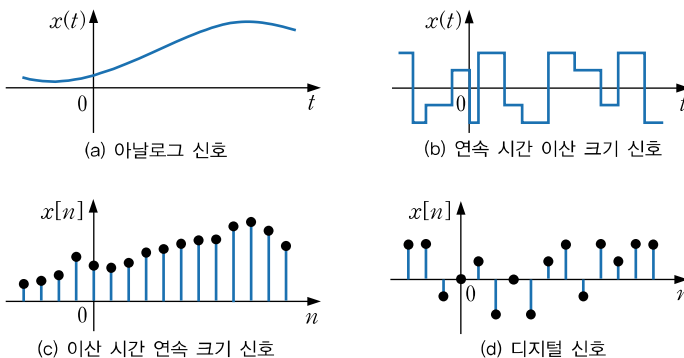
[그림 1-2] 신호의 예

대부분의 신호는 시간을 독립 변수로 하는 함수로 표현되지만, 전화밀도나 영상 등과 같이 공간 변수를 독립 변수로 갖는 신호들도 있다.

한편, 같은 신호라 할지라도 다양한 형태로 나타내거나 저장할 수 있다. 예를 들어 사람의 음성은 공기 중에 파동을 발생시켜 이로 인한 압력(음압) 변동을 귀로 전달하는 것이지만, 마이크를 통과한 음성은 전기 신호인 전압으로 표현되며, 카세트 테이프에 저장할 경우에는 자기 신호로, CD나 MP3 파일로 저장할 때에는 이진 숫자열로 표현된다. 마이크의 경우에는 시간에 따른 전압 값의 변화(전압 파형) 속에, MP3 파일의 경우에는 숫자열의 이진 값 변화, 즉 이진 부호가 달라지는 양상 속에 음성 에 관한 정보를 담는다.

1.2.2 아날로그와 디지털 신호

일반적으로 신호는 시간을 독립 변수로 하는 함수로 표현되므로, 시간 및 함수값(신호의 크기)에 해당하는 양 축에 대해 각각 연속 또는 불연속이 될 수 있다. 따라서 신호의 형태는 [그림 1-3]과 같이 네 가지로 나누어 볼 수 있다.



[그림 1-3] 시간과 크기에 따른 신호의 분류

[그림 1-3(a)]와 [그림 1-3(b)]처럼 시간에 대해 끊어지지 않고 지속적으로 나타나는 신호를 연속(시간) 신호 continuous-time signal라고 하며, [그림 1-3(c)]와 [그림 1-3(d)]처럼 띄엄띄엄 특정한 시간에만 나타나는 신호를 이산(시간) 신호 discrete-time signal라고 한다(두 신호를 구분하기 위해, 시간 변수를 표기할 때 연속 신호는 t , 이산 신호는 $[n]$ 을 사용한다). 또한, 특별히 [그림 1-3(a)]와 같이 시간과 크기 모두 연속적인 값을 가질 수 있는 신호를 아날로그 신호 analog signal라고 하고, [그림 1-3(d)]처럼 시간과 크기 모두 이산적인 값만 가질 수 있는 신호를 디지털 신호 digital signal라고 한다. 그러나 이러한 기준은 어디까지나 엄밀한 구분이고, 실제로는 좀 더 폭넓게 연속 신호를 아날로그 신호, 이산 신호를 디지털 신호라고 혼용해 쓰기도 한다.

이산 신호는 발생 순서대로 늘어놓으면 단순한 숫자의 나열(숫자열)일 뿐이므로 컴퓨터로 처리하기에 매우 적합하다. 이러한 이산 신호에는 상품의 월별 판매량, 일별 주식 가격 등과 같이 원래부터 이산 신호인 것들도 있고, 연속 신호를 1초 간격, 5초 간격 등과 같이 특정한 시간마다 그 순간의 신호 값을 취하는 샘플링이라는 과정을 거쳐 얻는 것도 있다. 가게에서 상품 가격을 10원 또는 100원 단위로 매겨서 표시하듯이, 이산 신호에 0.5, 1 등 특정한 간격으로 떨어진 값들만 가지도록 하는 양자화라고 하는 과정을 적용해야 비로소 디지털 신호를 얻을 수 있다. 그러므로 아날로그 신호에서 디지털 신호로 변환하려면 샘플링과 양자화 과정을 반드시 거쳐야만 한다.

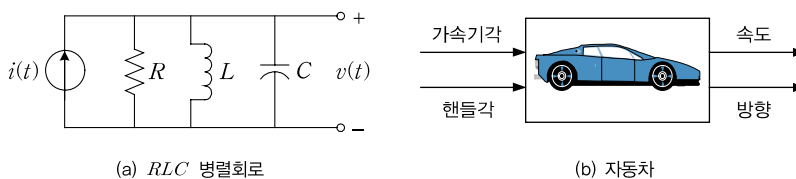
1.2.3 시스템

신호를 매개체로 정보를 전달하고 이용하려면 신호를 만들어내거나 신호로부터 필요한 정보를 뽑아내야 하는데, 이러한 일을 하는 것이 바로 시스템이다. 시스템은 특별한 목적을 달성하는 데 필요한 물리적 구성 요소들이 유기적으로 배열되어 하나로 묶인 집합체이다.

시스템^{system}은 일련의 신호를 받아들여 어떤 작용을 거쳐 다른 일련의 신호를 만들어내는 실체로서 신호의 변환, 가공, 추출 등의 일들을 수행한다.

- 시스템은 특정한 신호(입력)에 대한 반응으로 다른 신호(출력)를 발생한다.
- 시스템은 입력, 출력, 그리고 동작 규칙에 의해 명확하게 표현된다.
- 시스템은 수학적으로 하나 또는 여러 개의 방정식으로 표현된다.

시스템은 주어진 신호를 특정한 목적에 맞도록 신호를 조작하고 처리해내는 장치로서, 공학에서 주로 다루는 시스템의 예로는 [그림 1-4]의 전기회로와 자동차를 비롯하여 통신 장비, 생산 설비 등을 들 수 있다. 이 밖에 주식시장이나 인체를 비롯한 생체도 시스템의 좋은 예가 된다.



[그림 1-4] 시스템의 예

시스템은 전기전자회로나 기계장치와 같이 물리적으로 존재하는 요소(하드웨어)만으로 구성될 수도 있고, 시스템의 기능을 알고리즘화하여 컴퓨터 프로그램(소프트웨어)으로 구현할 수도 있다. 또한 두 구성을 결합한 형태로 구현되기도 한다.

일례로, 오디오 시스템에 달린 등화기^{equalizer}의 경우, 예전에는 IC와 전기전자 부품들을 사용하여 만들어진 복잡한 회로였으나 최근에는 알고리즘을 탑재한 DSP칩 하나로 대체되는 경우가 많다. 더구나 클래식, 록 등 음악의 종류나 콘서트홀, 스타디움 등 장소 유형에 맞추어 적절한 음향 효과를 재현할 수 있게 프로그램화하여 간단한 버튼 조작으로 선택하게끔 하기도 한다. 이러한 기능은 하드웨어만으로 제공하기가 쉽지 않을 것이다.

시스템과 관련하여 하는 일들은 크게 해석^{analysis}과 설계^{design}로 나눌 수 있다. 전기회로에서 입력 전압, 전류에 대해 각 소자의 전압, 전류 분포가 어떻게 되는지 알아내는 것은 해석에 해당되고, 음성 신호의 잡음 제거나 손상된 영상의 복원을 위해 특별한 필터를 개발하는 것은 설계에 해당된다. 해석 이든 설계든 간에 출발점은 시스템을 알기 쉬우면서도 간단명료하게 나타내는 것이다. 시스템의 표현 방법에는 시스템에 대해 개략적이고 전체적인 이해를 쉽게 해주는 시각적 표현과 논리적으로 접근하고 분석할 수 있게 해주는 수학적(이론적) 표현이 있다.

시각적 표현에서 시스템은 [그림 1-4(b)]와 같이 블록을 이용하여 나타낼 수 있다. 입력 및 출력 단자가 있는 사각 블록에 시스템의 명칭이나 입출력의 관계를 규정짓는 수식 또는 그래프 등을 표시해 놓으면 그 시스템의 기능이나 동작 특성을 한 눈에 쉽게 알아볼 수 있게 된다.

1.2.4 신호 처리

보통 신호에는 유용한 정보와 불필요한 정보가 섞여 있다. 그러므로 신호에서 유용한 정보를 추출, 향상, 전달, 저장하기 위해서는 의도적이고 계획된 조작이 필요한데, 이를 신호 처리라고 한다. 신호의 처리는 시스템에 의해 이루어진다.

신호 처리^{signal processing}는 원하는 목적에 알맞은 결과를 얻을 수 있도록, 신호에 대해 시스템을 이용하여 교환, 변환, 가공, 전송, 저장 등의 일을 수행하는 것이다.

신호 처리 작업은 대체로 다음과 같이 네 가지 범주로 나눌 수 있다.

- 해석 : 신호에서 원하는 특정 정보를 빼내어 적절한 방법으로 표현한다.
- 합성 : 조절 신호를 이용해 원하는 출력 신호를 발생한다.
- 변환 : ‘전기 → 빛’처럼 신호의 물리적인 형태를 다른 형태로 바꾼다.
- 필터링 : 불필요한 성분을 제거하거나 바람직한 형태로 신호를 변형한다.

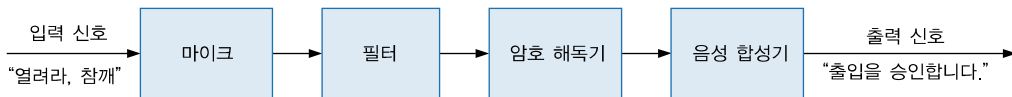
예제 1-1 출입 보안 시스템 - 알리바바와 40인의 도둑

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

풀이

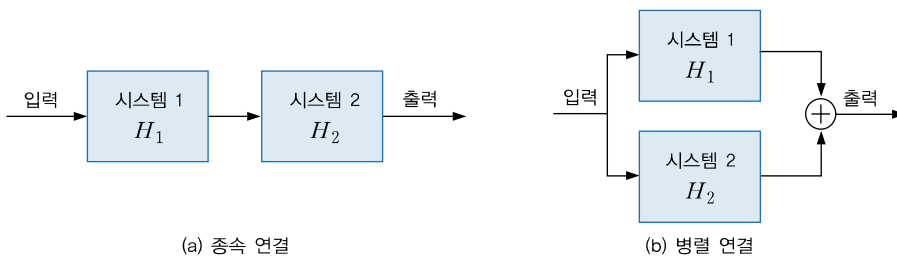
바람이 몹시 부는 날 동굴 앞에 서서 마이크에다 “열러라, 참깨”라고 외치면, 보안 시스템은 암호가 맞는지를 따져본 후에 “출입을 승인합니다.”라고 말하면서 문을 열어줄 것이다. 이때 마이크는 사람의 음성 신호를 전기 신호로 바꾸주는(변환) 신호 변환기이고, 마이크로 감지한 소리 중에 심한 바람 소리를 걸러내고 사람의 음성만을 깨끗하게 뽑아내어(필터링) 암호 해독기로 보내주는 장치는 신호에 대한 필터가 될 것이다. 또한 이 신호가 “열러라, 참깨”가 맞는지를 판별하는(해석) 암호 해독기는 신호 해석기이며, “출입을 승인합니다.”라는 기계음을 만들어내는(합성) 음성 합성 장치는 신호 합성기가 될 것이다.

[그림 1-5]는 [예제 1-1]과 같은 보안 시스템을 블록선도로 나타낸 것이다. 블록선도^{block diagram}는 각 시스템의 구성 요소(또는 부시스템)를 블록으로 바꾸고 신호의 흐름에 따라 블록 사이의 연결 관계를 그려 놓은 그림으로, 시스템을 표현하고 이해하는 데 매우 편리하고 유용한 방법이다. 블록 안에는 시스템의 특성을 나타내는 수식, 그래프, 명칭 등을 표시한다.



[그림 1-5] ‘알리바바와 40인의 도둑’의 보안 시스템 블록선도

블록선도에서 시스템 간의 연결은 [그림 1-6]에 나타낸 것처럼 종속^{cascade} 연결과 병렬^{parallel} 연결의 두 가지 방법이 있다. [그림 1-6(a)]의 종속 연결은 두 시스템을 앞뒤로 연결하여 시스템 1의 출력이 시스템 2의 입력이 되는 형태이고, [그림 1-6(b)]의 병렬 연결은 두 시스템을 나란히 늘어 세우고 같은 입력을 인가하여 나오는 각각의 출력을 더해 전체 시스템 출력이 얻어지는 형태이다.



[그림 1-6] 시스템의 연결 방법

1.3 디지털 신호 처리

디지털 신호 처리(digital signal processing)는 엄격하게 [그림 1-3(d)]의 디지털 신호만을 대상으로 하는 것이 아니라, 좀 더 넓은 의미로 **디지털 시스템에 의한 이산 신호의 처리**를 가리키는 용어이다. 이산 신호는 단지 숫자를 나열한 것이므로, 디지털 신호 처리는 결국 신호의 수치적 조작에 지나지 않는다. 따라서 신호 처리를 위한 연산과 시스템이 대상 신호에 따라 일일이 달라질 필요가 없다. 즉, 덧셈, 곱셈, 시간 지연과 같은 기본 연산만으로도 신호에 대한 다양하고 복잡한 조작을 구현할 수 있어 신호의 취급이 매우 단순해진다.

이 절에서는 전형적인 디지털 신호 처리 시스템의 구성과 기능, 디지털 신호 처리의 장단점, 그리고 디지털 신호 처리를 하는 목적과 그 응용에 대해 간략히 살펴본다.

1.3.1 디지털 신호 처리 시스템의 구성

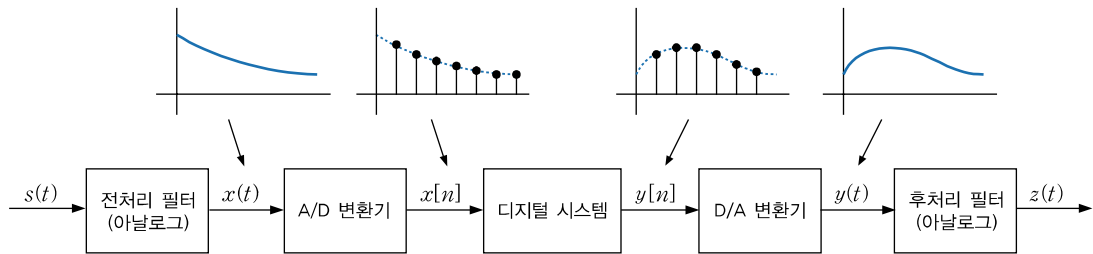
실생활에서 우리가 접하게 되는 대부분의 신호는 아날로그이다. 그러므로 HD TV나 MP3 플레이어 처럼 디지털 시스템과 기술을 사용하여 아날로그 신호를 처리하는 일이 디지털 신호 처리의 응용에서 매우 큰 비중을 차지하고 있다. 그런데 마이크로프로세서, 논리 IC, 메모리 IC와 같이 디지털 시스템을 구성하는 반도체 소자들은 디지털 신호에 대해서만 정상적으로 작동하기 때문에 디지털 시스템에 아날로그 신호를 넣으면 비정상적으로 작동하거나 아예 작동하지 않는다. 반대로, 아날로그 시스템인 스피커에 디지털 시스템이 처리하여 내보낸 디지털 신호를 넣으면 멜로디가 부드럽게 이어지는 아름다운 소리가 아니라 스타카토처럼 푹푹 끊어지고 듣기 싫은 소음만 뱉어낼 것이다.

그러므로 디지털 시스템을 이용하여 아날로그 신호를 처리하기 위해서는, 우선 디지털 시스템에 적합한 입력 신호를 얻기 위해 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸는 과정이 필요하고, 역으로 디지털 시스템에서 처리된 결과를 다시 아날로그 신호로 되돌리는 과정도 필요하다.

전자의 예로는 사람들이 좋아하는 그림(아날로그)을 홈페이지에 올리기 위해 스캐너를 사용하여 JPEG 파일(디지털)을 만드는 과정에 해당하고, 후자의 예로는 MP3 파일(디지털)을 플레이어가 재생하여 스피커로 음악(아날로그)을 들려주는 과정을 들 수 있다. 만족스러운 처리 결과를 얻기 위해서는 이외에도 추가적인 작업들이 필요하다.

[그림 1-7]은 이러한 과정을 모두 포함하는 전형적인 디지털 신호 처리 시스템의 구성을 보여준다. 그림에서 가장 앞부분에 있는 **전처리 필터**(preprocessing filter)는 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸기 전, 즉 샘플링에 앞서 신호의 주파수 범위를 제한하기 위한 아날로그 필터이다(이 필터가 필요한 이유는 4장에서 자세히 설명할 것이다). 전처리 필터를 통과한 아날로그 신호는 시간에 대해 이산화하는 **샘플링**(sampling)과 크기에 대해 이산화하는 **양자화**(quantization)의 두 과정을 수행하는 **아날로그-디지털 (A/D) 변환기(ADC)**(Analog-to-Digital Converter)에 의해 디지털 신호로 변환된다.

그런 뒤에 특정 용도의 디지털 회로나 범용 컴퓨터와 같은 디지털 시스템이 이를 입력으로 받아들여 원하는 목적에 맞게 처리 동작을 수행하고, 그 결과로 얻은 디지털 신호를 출력하면 **디지털-아날로그(D/A) 변환기(DAC)**(Digital-to-Analog Converter)가 이를 다시 아날로그 신호로 바꾼다. 마지막 단의 아날로그 필터는 D/A 변환 과정에서 발생하는 불필요한 과도 응답 신호를 제거하여 매끄러운 아날로그 신호를 얻기 위한 **후처리 필터**(postprocessing filter)이다.



[그림 1-7] 전형적인 디지털 신호 처리 시스템의 구성

[그림 1-7]에서 각 블록을 지나는 신호의 형태에 주목할 필요가 있다. 디지털 시스템의 입출력 신호만 디지털 신호이고 나머지 부분은 모두 아날로그 신호이다. 그러므로 만일 원하는 마지막 출력 형태가 디지털 신호라면 D/A 변환기와 후처리 필터가 불필요할 것이고, 처리해야 할 입력 신호가 원래 디지털 신호라면 전처리 필터와 A/D 변환기는 제외될 것이다.

디지털 신호 처리 시스템의 구성을 정리하면 다음과 같다.

- 전처리 필터 : 신호의 주파수 범위를 제한하여 주파수중첩 현상을 방지한다.
- A/D 변환기 : 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환한다(샘플링 + 양자화).
- 디지털 시스템 : 목적에 알맞은 신호 처리 동작을 수행한다.
- D/A 변환기 : 디지털 신호를 아날로그 신호로 복원한다.
- 후처리 필터 : 불필요한 과도 응답을 제거하고, 신호 파형을 매끄럽게 한다.

1.3.2 디지털 신호 처리의 장단점

[그림 1-7]을 보면 분명히 디지털 신호 처리 방식이 아날로그 신호 처리 방식보다 더 많은 요소들을 포함하므로 훨씬 복잡해 보인다. 그럼에도 디지털 방식으로 신호를 처리하는 이유는 아날로그 신호 처리 방식보다 유리한 점이 있기 때문일 것이다.

아날로그 신호 처리는 융통성이 부족하여 적용 범위가 제한적이고 시스템 설계가 복잡해진다. 또한 부품들의 성능 오차, 잡음에 대한 취약성, 동작 환경에 대한 민감성 등의 문제로 안정적이고 만족스러운 결과를 얻기가 어렵다. 게다가 정확도를 향상시키고자 할 때 통상 얻을 수 있는 효과보다 과도한 비용이 들어가게 된다. 반면에, 디지털 신호 처리는 기본적으로 수치 연산이며 하드웨어와 소프트웨어를 결합시킬 수 있으므로 아날로그 신호 처리의 단점을 잘 극복할 수 있을 뿐만 아니라 그 이상의 해결책을 제공할 수 있다.

디지털 신호 처리가 갖는 주요한 장점들을 정리하면 다음과 같다.

- 데이터, 음성, 영상 등 다양한 형태의 신호를 통합적으로 취급할 수 있다.
- 처리가 덧셈, 곱셈, 시간 지연에만 기초하므로 신호를 조작하기 쉽다.
- 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 다양한 처리 방식을 구현할 수 있다.
(특히, 아날로그 방식으로는 할 수 없는 작업도 구현할 수 있다.)
- 프로그램을 교체하여 전혀 다른 형태와 성능의 신호 처리를 해낼 수 있다.
- 디지털 신호는 다양한 저장매체에 쉽게 저장할 수 있고 이용이 간편하다.
- 데이터의 손상 없이 동일한 동작을 무한히 반복/재현할 수 있다.
- 수치적으로 처리하므로 잡음과 외란의 영향이나 유동^{drift}을 감소시킬 수 있다.
- 정확도 및 감도를 특정 수준으로 보장할 수 있으며, 이에 대한 수준 조절이 쉽다.
- 컴퓨터와 상용 소프트웨어를 이용하여 편리하게 개발하고 검증할 수 있다.
- 프로그램 및 디지털 소자의 특성상 동작의 안정성과 신뢰성이 매우 높다.
- 시분할, 다중화 등으로 동시에 여러 신호들을 처리할 수 있다.
- 반도체의 발달로 시스템을 저렴하고, 작고, 가볍고, 간결하게 만들 수 있다.
(최근에는 시스템에 대해 휴대성, 대용량, 다기능, 저전력 등의 특징이 강조되고 있다.)

그러나 세상만사가 다 그렇듯이 디지털 신호 처리도 장점만 있고 단점이 없을 수는 없다. 디지털 신호 처리는 샘플링 과정에서 샘플링 간격 사이의 정보를 잃어버리게 되어 이를 신호 처리에 전혀 이용하지 못하며, 그나마 정확한 값이 아니라 양자화를 거쳐 얻은 근사값을 사용하기 때문에 원래의 신호를 있는 그대로 사용하는 **아날로그 신호 처리에 비해 정보의 손실이나 왜곡이 생길 수밖에 없다.** 이는 처리 결과의 정확도와 성능에 영향을 미친다. 사람들이 디지털 방식이 아날로그 방식보다 더 우수하고 성능도 좋다고 착각하는 이유는 아날로그 방식과 비슷하거나 나은 성능과 기능을 좀 더

저렴한 비용으로 얻을 수 있다는 상대적인 결과를 이론적인 절대 평가와 혼동하기 때문이다.

다음으로, 디지털 신호 처리는 [그림 1-7]에서 본 것처럼 A/D 및 D/A 변환을 비롯한 여러 과정을 추가로 거치기 때문에 시스템 구성이 복잡하고, 신호 처리에 시간 지연이 발생하며, 소자의 동작 속도로 인해 처리 속도에 제한이 있다는 것도 문제이다. 이는 특히 초고주파 영역 신호를 다룰 때에 결정적인 취약점이 된다. 또한 전체적인 처리 과정에 아날로그와 디지털이 혼재되어 있으므로 전체 시스템에 대한 수학적 해석이 까다롭고 어렵게 된다.

또 다른 중요한 단점으로는 양자화 오차에 의한 유한 어장 효과 finite word-length effect를 들 수 있다. 유한개의 비트bit를 가지고 연속적인 값을 표현하면 오차가 발생한다. 이것이 양자화 오차이다. 예를 들어, 0에서 10까지의 값을 4[bit]로 나타낼 경우 $2^4 = 16$ 가지 이상을 구분할 수 없으므로 반올림을 사용하여 16가지로 설정된 대푯값 중의 하나로 근사화시켜야 한다. 이때 신호 처리 과정에서 프로그램이나 동작의 반복 시행으로 인해 오차가 누적되어 자칫 잘못하면 흔히 컴퓨터 프로그램을 돌리면서 경험했던 것처럼 시스템이 오버플로우overflow를 일으켜 작동을 중지할 수도 있다.

이러한 단점에도 디지털 신호 처리는 앞서 늘어놓은 것처럼 매력적인 장점들이 너무나 많고, 단점을 극복할 수 있는 기술들이 매우 빨리 개발되고 있기 때문에 널리 활용되고 있으며 그 응용 범위가 점점 넓어지고 있다.

1.3.3 디지털 신호 처리의 목적

디지털 신호 처리에서 이루어지는 작업은 매우 다양하지만, 대체로 그 목적에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

신호 해석

신호 처리에서는 관측된 신호로부터 그 신호의 특정한 성질을 해석하는 것이 필요한 경우가 많다. 스펙트럼 해석과 상관correlation 해석이 대표적인 신호 해석 분야이다. 스펙트럼 해석은 신호 해석의 기본으로서 푸리에 변환을 주로 사용한다(푸리에 변환은 이 책의 중반부에서 상세히 다룰 것이다). 상관 해석은 신호 간의 유사성을 나타내는 지표로, 잡음이 섞인 신호로부터 원래 신호를 찾아내거나 신호 속에 숨어있는 주기성 등을 알아내는 데 유용하게 쓰인다.

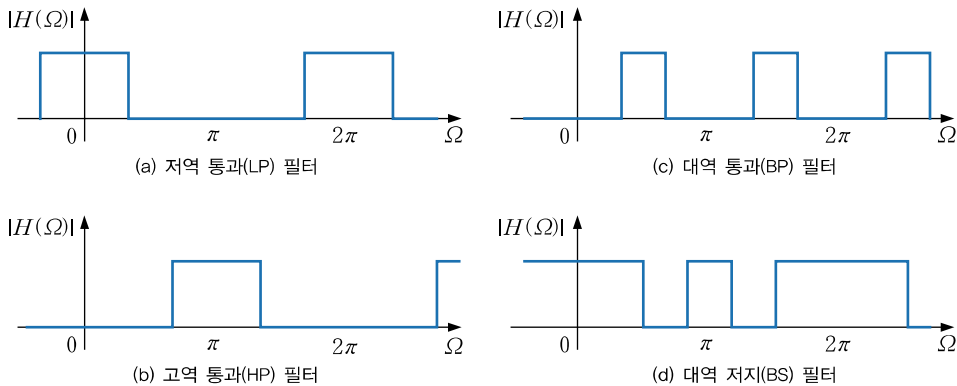
정보 추출

패턴 인식과 같은 응용 분야에서는 신호 해석과 처리에 편리하도록 관측 신호에 포함된 의미 있는 정보를 뽑아내는 것이 우선되어야 할 경우가 많다. 예를 들어, (CSI와 같은 범죄수사극에서) 신원

확인을 위해 용의자 지문의 주요한 특징을 추출해 데이터베이스와 비교한다든지, 레이더에서 수집된 신호로부터 미확인 비행체의 식별을 위해 특징을 추출하는 일 등이 정보 추출에 해당된다. 이러한 정보 추출에는 주로 확률 통계적 방법과 같은 수학적 기법들이 사용된다.

필터링

관측된 신호에는 불필요한 잡음이 섞여 있는 경우가 많다. 예를 들어, 카메라로 찍은 창밖의 풍경은 카메라 렌즈나 유리창이 깨끗하지 않으면 사진 일부분이 선명하지 않거나 얼룩져 보일 것이다. 또한 구글 어스(Google Earth)와 같이 인공위성에서 찍은 지구의 영상들도 기상 상태나 전송 선로 특성에 기인한 잡음이 섞이게 된다. 이러한 잡음을 제거하여 원래의 깨끗한 신호를 복원하는 것을 **필터링**(잡음 제거)이라고 하며, 잡음의 특성에 따라 [그림 1-8]과 같은 **주파수 선택 필터**(frequency selective filter)나 적응 필터를 이용하여 제거하게 된다. 주파수 선택 필터는 주파수에 따라 원하는 성분만 통과시키거나 불필요한 성분을 제거하는 필터로서, 주파수 분리 특성에 따라 [그림 1-8]과 같이 저역 통과(LP), 고역 통과(HP), 대역 통과(BP), 대역 저지(BS)의 네 가지로 나누어진다. 이에 대한 설계는 이 책의 주요한 주제로서, 9장부터 12장에 걸쳐 다루게 될 것이다.



[그림 1-8] 주파수 선택 필터의 유형

신호의 압축과 복원

음성이나 영상과 같은 멀티미디어 정보의 활용을 제약하는 주된 요인은 방대한 데이터의 양이다. 데이터의 양이 너무 크면 신호를 저장, 재생, 전송할 때 문제가 생긴다. 따라서 품질은 최대한 저하시키지 않으면서도 데이터의 양을 줄이는 신호의 압축과 복원(코딩) 기술은 매우 중요하다. 음악 CD의 wav 파일은 1초당 데이터의 양이 $1,411.2[\text{kbps}]$ ($44.1[\text{kbps}] \times 16[\text{bit}] \times 2$ 채널)이지만, 압축한 MP3 파일은 $192[\text{kbps}]$ 정도로 비슷한 음질을 제공한다. 또한 동영상을 그대로 $700[\text{MB}]$ 용량의 CD에 저장하면 대략 1분 전후의 분량을 담을 수 있지만, avi나 divx와 같은 압축 파일은 120분 정도의 영화 한 편을 양호한 화질로 두 장의 CD에 담을 수 있다.

시스템 식별과 신호의 예측

신호는 겉으로 뚜렷하게 드러나진 않아도 자신을 만들어내는 시스템 고유의 특성을 반영하고 있다. 그러므로 적절한 처리에 의해 신호 발생 시스템의 특성이나 구조를 알아낼 수 있다. 이로부터 시스템 모델을 확립, 즉 시스템을 식별하거나 향후의 신호 값을 예측할 수도 있다.

신호의 합성

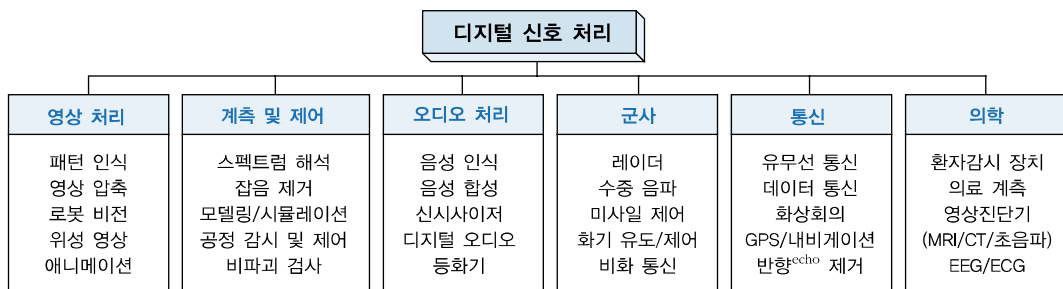
음성이나 영상과 같은 신호의 합성은 자동화/지능화와 멀티미디어 정보의 활용에 대한 수요가 급증하면서 신호 처리의 중요한 한 분야로 자리 잡고 있다.

1.3.4 디지털 신호 처리의 응용

디지털 신호 처리는 관련 이론, 기술 및 제품의 구현, 그리고 이들의 응용 사이에 항상 긴밀한 관계를 유지하면서 발전해왔다. 지금까지 디지털 신호 처리가 강력한 실용성과 응용성을 가질 수 있었던 이유로는 아무래도 반도체와 컴퓨터의 발달을 꼽아야겠지만, 그렇다고 해서 **고속 푸리에 변환(FFT)**^{Fast Fourier Transform}이 기여한 바를 결코 낮게 평가할 수는 없다. 이들의 결합으로 값싸고, 유연하고, 실시간 처리가 가능한 신호 처리 기술이 제공되면서 오늘날과 같은 비약적인 발전을 보이게 된 것이다.

실생활에서 디지털 신호 처리는 다양한 기술과 시스템이 복합되어 이용된다. 친구에게 핸드폰으로 문자를 보내는 것을 예로 들어보자. 문자를 작성하면 핸드폰이 이를 이진 부호로 바꾼 뒤 발/수신 전화번호 정보와 함께 무선 송신에 알맞은 형태로 신호를 변조하여 안테나를 통해 기지국으로 전송한다. 기지국에서는 수신된 정보를 해석한 뒤 멀리 보낼 수 있도록 다시 한 번 변조 과정을 거쳐 안테나를 통해 송신한다. 그리고 친구의 핸드폰이 공중에 떠다니는 많은 신호 중에서 자신의 신호를 검출하여 복조와 복호화의 과정을 거치면, 비로소 핸드폰 창에 문자가 나타난다.

디지털 신호 처리 기술이 활용되고 있는 분야는 헤아리기 힘들 정도로 많지만, 주요한 응용 몇 가지를 [그림 1-9]에 보였다.

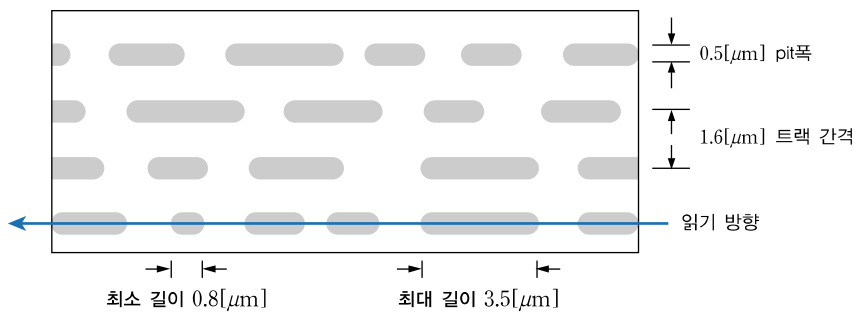


[그림 1-9] 디지털 신호 처리의 주요 응용

✓ 오디오 CD 재생 시스템

오디오 CD 재생 시스템은 대표적인 디지털 신호 처리 시스템의 예이다. CD 플레이어가 CD를 재생해서 음악을 들려주는 과정을 간략히 살펴보자.

CD의 표면은 빛을 잘 반사하도록 광택 처리가 되어 있는데, 디스크 바깥쪽에서 안쪽을 향하여 나선형으로 돌아들어 가는 트랙을 따라 디지털 정보를 저장한다. 이때 레이저를 이용하여 이진 부호화된 정보 패턴에 맞추어 표면을 태움으로써 정보가 CD에 저장되는 것이다. [그림 1-10]은 디지털 정보가 저장되는 CD의 표면을 나타낸 것으로, pit의 어두운 부분이 레이저로 태운 부분에 해당한다. pit 폭과 최소 길이 등은 빛의 초점을 모을 수 있는 물리적 한계를 고려하여 정해진 것이다.



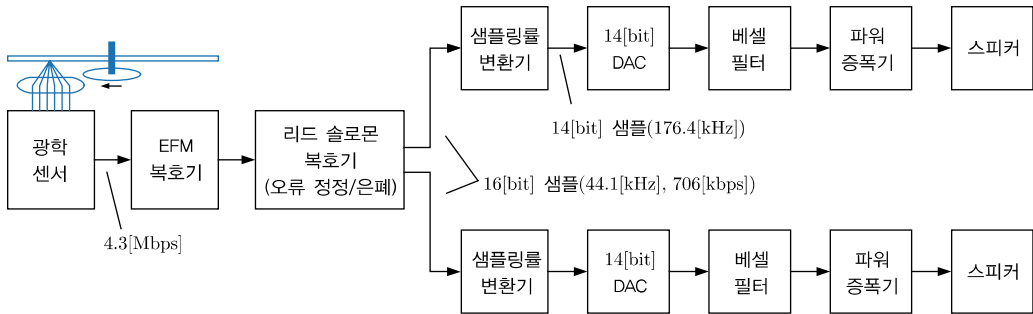
[그림 1-10] CD의 표면

재생할 때는 트랙을 따라 1초당 1.2[m]씩 일정하게 움직이도록(이 데이터 재생 속도는 4.3[Mbps]에 해당한다) 최저 210[rpm]에서 최대 480[rpm]으로 속도를 변화시키면서 광학 센서(pickup)가 표면이 빛을 반사하는지 아닌지를 감지하여 이에 상응하는 이진 정보를 읽어낸다. 이때 초당 데이터 재생 속도와 이동 거리로부터 1[bit]가 트랙에서 차지하는 평균 길이를 거꾸로 계산해보면, 대략 0.28[μm]가 되어 pit의 길이에 대한 조건에 어긋난다. 이 불일치는 CD에 데이터를 기록할 때 8-14변조(EFM) Eight-to-Forteen Modulation 부호화를 통해서 실제 1[byte](=8[bit])의 정보를 14[bit]로 바꾸어 해소한다.

또한 CD를 기록할 때 스테레오 채널의 데이터를 혼합하고 복호화할 때 오류 발견 및 정정/은폐를 할 수 있도록 2레벨 리드 솔로몬 Reed-Solomon 부호화 과정을 추가로 거친다. 따라서 재생 시에는 역으로 EFM 복호화 과정과 스테레오 분리 및 오류 정정/은폐를 위한 리드 솔로몬 복호화 과정이 필요하다. 복호화와 오류 정정을 거쳐 다시 스테레오로 분리된 오디오 신호는 채널별로 16[bit] 데이터화하여 44.1[kHz]의 샘플링률(sampling rate)로 내보내어진다.

이제 CD 재생에서 남은 과정은 디지털 데이터를 아날로그 신호로 바꾸는 것인데, 바로 16[bit] D/A 변환기를 사용하지 않고 다중속도(multirate) 기법을 이용해 샘플링률 176.4[kHz]의 14[bit] 데이터로 변환시켜서 14[bit] D/A 변환기에 입력시킨다. 이 경우 샘플링률이 4배이므로 14[bit]가 되더라도 그다지 음질을 떨어뜨리지 않는다. D/A 변환기를 거쳐 나온 신호는 후처리를 위해 베셀 필터(Bessel filter)를 거쳐 파워 증폭기로 증폭된 뒤, 스피커를 통해 감미로운 음악으로 우리 귀에 들리게 되는 것이다.

[그림 1-11]은 지금까지 설명한 오디오 CD 재생 시스템의 블록선도이다.



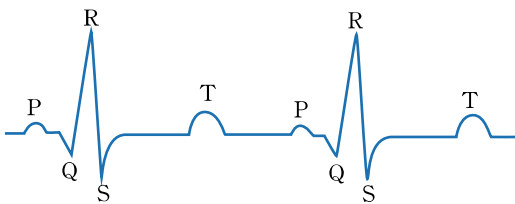
[그림 1-11] 오디오 CD 재생 시스템의 블록선도

☑ 심전도 신호의 처리

심장 기능의 이상 유무를 판별하기 위해 측정되는 심전도(ECG)^{ElectroCardioGram}는 중요한 생체 신호이다. 측정된 심전도 신호가 처리 과정을 거쳐 이상 유무를 읽어낼 수 있는 신호로 바뀌는 과정을 살펴보자.

사람의 심장은 자율신경계로 조정되는 근육의 수축과 이완을 통해 ‘대정맥 → 우심방 → 우심실 → 폐동맥 → 폐 → 폐정맥 → 좌심방 → 좌심실 → 대동맥 → 온몸 → 대정맥’의 경로로 혈액을 순환시킨다.

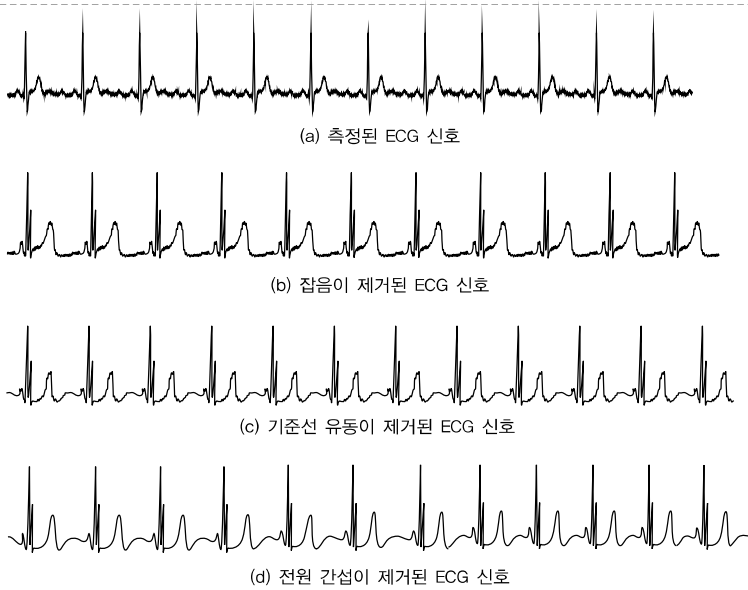
심전도는 심장의 전기적인 활동을 몸에 붙인 전극을 통해 측정된 신호로, 전형적인 파형은 [그림 1-12]와 같다. 이때 P는 좌우 심방의 수축을 나타내며, QRS는 심실의 수축이 일어나는 기간이고, T는 심실의 이완기에 해당한다. 그리고 P와 QRS 사이는 심실에 혈액을 충분히 채울 수 있도록 신경 자극의 전달이 지연되는 기간이며, S와 T 사이는 심실의 수축이 지속하는 기간이다.



[그림 1-12] 전형적인 ECG 신호

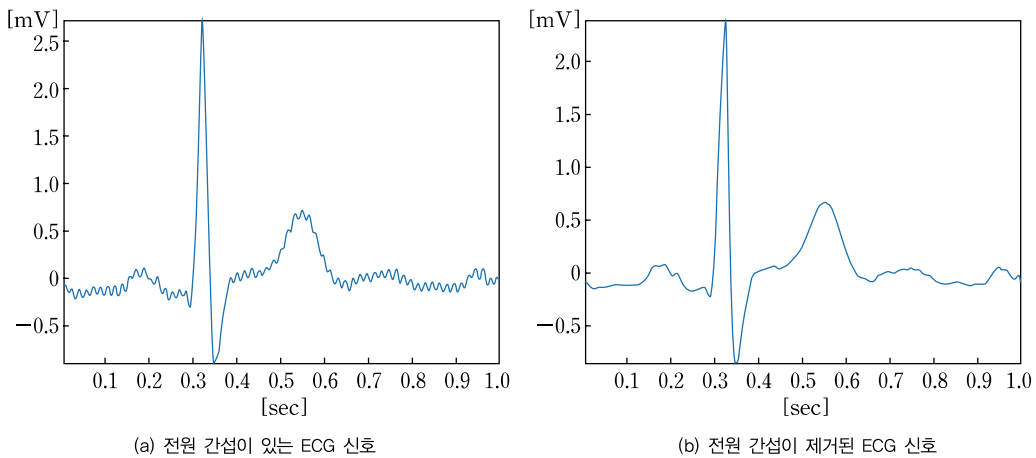
의사들은 이러한 심전도 파형을 보고 심장의 이상 유무를 판단하게 된다. 그런데 심전도를 측정할 때 전극을 통해 감지되는 전압은 [mV] 정도의 극히 미약한 신호이므로 전극의 위치나 상태와 같은 측정 환경, 근육의 움직임, 계측기 전원 등의 영향을 받아 [그림 1-13(a)]와 같이 고주파 잡음과 기준선 유동, 전원 간섭이 혼재된 신호가 측정된다.

이 측정 신호에 대해 먼저 저역 통과 필터를 이용하여 고주파 잡음을 없애면 [그림 1-13(b)]와 같은 파형을 얻게 된다. 그림에서 파형의 기준선이 천천히 변동하는 기준선 유동 현상을 관찰할 수 있는데, 기준선 유동은 저주파 특성을 보이므로 고역 통과 필터에 의해 제거될 수 있다.



[그림 1-13] ECG 신호의 처리

이렇게 얻은 [그림 1-13(c)]의 파형을 보면 여전히 깨끗하지 못하고 전원의 간섭에 의한 진동이 섞여 있다. 이와 같은 전원에 의한 간섭 현상은 생체 신호의 계측에서 흔히 발생하는 문제로, 정확한 진단을 위해서는 반드시 제거 또는 감소시켜야 한다. 간섭을 일으키는 신호는 전원 주파수 또는 그의 정수배인 고조파 성분이므로 특정 주파수 주변의 좁은 구간의 주파수 성분을 제거하는 노치 필터(notch filter)를 이용하여 간섭 신호를 제거하면 된다. 그 결과 최종적으로 얻은 파형은 [그림 1-13(d)]와 같다. [그림 1-14]는 전원 간섭 제거 효과를 더 확실하게 보여주기 위해 ECG 신호의 한 주기 파형을 확대하여 나타낸 것이다. [그림 1-14(a)]는 전원 간섭이 존재하는 파형이고, [그림 1-14(b)]는 노치 필터에 의해 전원 간섭이 제거된 깨끗한 파형이다.



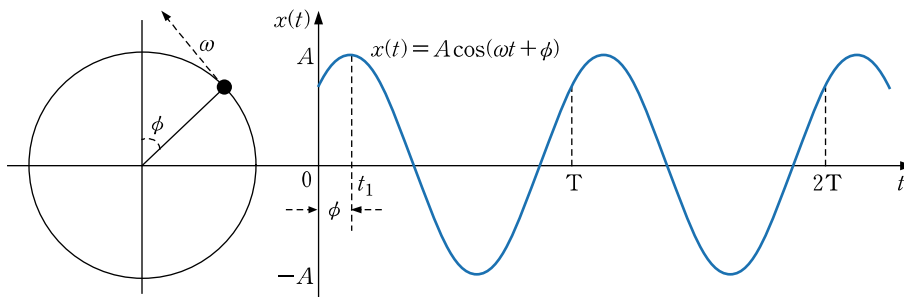
[그림 1-14] 노치 필터에 의한 ECG 신호의 전원 간섭 제거

1.4 신호와 관련한 기초 개념

신호와 관련하여 자주 사용되는 익숙한 개념과 용어임에도 정확한 정의와 의미를 설명하려면 막상 설명하기 어려운 경우가 종종 있다. 그러므로 이 절에서는 신호 처리에서 필수적인 몇 가지 기초 개념에 대해 간략히 살펴보기로 한다.

1.4.1 정현파와 진폭, 위상, 주기, 주파수

정현파 sinusoids는 신호의 해석과 처리에서 매우 중요한 역할을 하는 기본적인 신호이다. 정현파는 [그림 1-15]에 나타난 것처럼 길이가 A 인 실에 매달려 반시계 방향으로 각속도 ω 를 가지고 T 초마다 한 바퀴씩 등속 회전 운동을 하는 공의 위치 $x(t)$ 를 시간에 대해 그려 얻는다. 이렇게 **신호의 시간에 따른 값의 변화를 나타낸 것을 신호의 파형**이라고 하는데, 공이 한 바퀴씩 돌 때마다 $x(t)$ 는 같은 파형을 반복하게 된다.



[그림 1-15] 정현파의 발생

[그림 1-15]에서 A 는 정현파 $x(t)$ 가 진동하여 가질 수 있는 값의 범위를, ω 는 단위 시간(1초)에 정현파가 이동할 수 있는 라디안 radian 각을, ϕ 는 $t=0$ 에서 정현파의 출발 위치를 결정하는 요소로 각으로 표시된 원점에서 코사인파의 꼭짓점(사인파의 0점)까지의 거리이다. 결국 정현파는 A , ϕ , ω 이 세 가지 요소에 의해 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (1.1)$$

이때 A 를 진폭 amplitude, ϕ 를 위상 phase, ω 를 각주파수 radian frequency라고 한다. 한편, 공이 T 초에 한

바퀴 도는 동안 2π [rad]만큼의 각을 이동하므로, T 와 ω 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

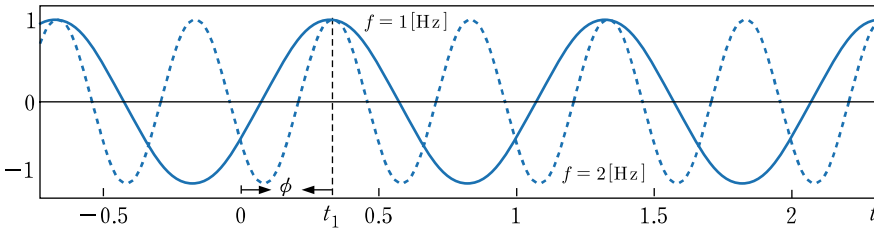
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1.2)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f} \quad (1.3)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (1.4)$$

T 는 정현파가 같은 파형이 반복되는 (최소) 시간 간격으로, 이를 (기본) 주기(fundamental) period라고 하며, 역으로 f 는 단위 시간(1초)에 같은 파형이 반복되는 횟수로서 주파수frequency라고 한다.

신호와 관련하여 주파수와 위상의 개념을 잘 이해하는 것은 매우 중요하다. [그림 1-16]의 두 정현파를 비교해보자. 주파수가 1 [Hz]에서 2 [Hz]로 두 배가 되어도 파형의 원래 모양은 바뀌지 않지만 주기는 반으로 줄어들게 된다. 그러므로 2 [Hz] 정현파가 1 [Hz] 정현파보다 시간적으로 더 빠르고 값이 변한다. 다시 말해, 주파수가 높아질수록 신호의 파형은 시간적으로 더 급격한 변화를 보인다. 거꾸로 파형이 시간적으로 더 빠른 변화를 보이는 신호에는 더 높은 주파수 성분이 포함된다.



[그림 1-16] 정현파에 의한 주파수와 위상의 개념

[그림 1-16]에서 두 정현파는 $t = 0$ 가 아니라 t_1 에서 꼭짓점에 이르므로 시간축 위에서 t_1 만큼 시간 지연(파형이 오른쪽으로 이동)이 된 신호이다. 따라서 두 정현파는 지연 시간 t_1 을 각으로 환산한 ϕ 만큼의 위상을 갖게 된다. 이처럼 위상은 신호 파형의 시간 이동과 연관되며, 원래 신호 파형보다 시간적으로 지연될 경우에는 뒤진(음의) 위상을 갖고 선행되는 경우에는 앞선(양의) 위상을 갖게 된다.

정현파의 주기 T 가 각으로는 2π [rad]에 대응되는 것을 이용하면, 위상 ϕ 는 다음과 같이 구할 수 있다. 이때 $\cos(2\pi ft)$ 를 t_1 만큼 지연시켜도 같은 결과를 얻는다.

$$\phi = -2\pi \frac{t_1}{T} = -2\pi f t_1 \quad (1.5)$$

$$\cos(2\pi f(t - t_1)) = \cos(2\pi f t - 2\pi f t_1) = \cos(2\pi f t + \phi) \quad (1.6)$$

진폭, 위상, 주기, 주파수를 정리하면 다음과 같다.

- 진폭 : 정현파가 진동하여 가질 수 있는 값의 범위
- 위상 : 각으로 표시된 원점에서 코사인파의 꼭짓점(사인파의 0점)까지의 거리
- (기본) 주기 : 정현파가 같은 파형을 반복하는 (최소) 시간 간격
- 주파수 : 정현파가 1초에 같은 파형을 반복하는 횟수(진동 횟수)
- 각주파수 : 정현파가 1초에 이동할 수 있는 라디안 각

1.4.2 신호의 에너지와 전력

신호의 특성을 정량적으로 나타내거나 비교하고자 할 때, 물리적으로도 의미 있고 신호를 대표하기에 적절한 값들에는 어떤 것들이 있을까?

가장 먼저 평균값을 떠올릴지 모르겠지만, 이는 주파수나 진폭에 상관없이 모든 정현파의 평균값이 0이 된다는 사실만 보더라도 타당성 있는 기준이 되지 못한다. 다음으로 최댓값을 생각해볼 수 있지만, 이 역시 적절한 기준이 되지 못한다. 왜냐하면 거의 모든 시간에 걸쳐 작은 값을 지니다 특정한 순간에만 매우 큰 값을 갖는 신호가 전 구간에 골고루 비교적 큰 값을 갖는 신호보다 값이 큰 것으로 과장되는 문제점이 발생하기 때문이다.

그러므로 신호의 특성을 정량적으로 나타내고자 할 때는 다음과 같이 신호 $x(t)$ 의 에너지^{energy}를 정의하여 사용한다.

$$E = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt \quad (1.7)$$

전력^{power}은 단위 시간당 에너지이므로 신호 $x(t)$ 에 대해 다음과 같이 정의한다.

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt \quad (1.8)$$

식 (1.7)과 식 (1.8)이 신호의 물리적인 에너지와 전력을 말하는 것은 아니지만, 전기회로에서 단위 저항 $R = 1[\Omega]$ 에 전압 $x(t)$ 를 인가할 때 저항에서 소비되는 전력은 $p(t) = v(t)i(t) = x^2(t)$, 총 에너지는 $E = \int_{-\infty}^{\infty} p(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt$ 가 되는 것과 잘 맞아 떨어지므로, 이렇게 정의해도 별 무리가 없다.

신호의 전력과 에너지를 구할 때, 계속 그 값이 변하는 신호 대신에 값이 일정한 전력의 제곱근으로 신호를 대체하더라도 결과는 변함이 없게 된다. 이처럼 **에너지 관점에서 신호의 실제적인 효과를 나타내는 값을 신호의 실효값**, 또는 계산식 그대로 **RMS^{Root Mean Square} 값**이라고 하며, 다음과 같이 정의한다. 실효값은 신호의 대푯값으로 널리 사용한다.

$$x_{rms} = \sqrt{\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt} \quad (1.9)$$

전력과 관련하여 알아두어야 할 용어로는 데시벨이 있는데, 신호의 상대적인 크기를 나타내는 데 사용되는 단위이다. **데시벨^{deci Bell}**은 **기준 신호에 대한 다른 신호의 전력비를 상용로그를 취한 값의 10배**로 정의하며 [dB]로 표기한다.

$$10 \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \log \frac{x_2^2}{x_1^2} = 20 \log \frac{x_2}{x_1} \text{ [dB]} \quad (1.10)$$

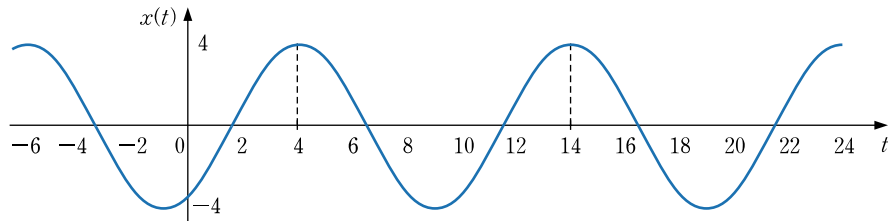
식 (1.10)에서 보듯이 데시벨을 구할 때, 신호의 전력비에 대해서는 $10 \log$, 신호의 크기(이득)비에 대해서는 $20 \log$ 를 취한다는 것을 명심하자.

Chapter 01 핵심요약

정리	관련 항
신호는 물리량의 변화 형태를 담은 일련의 정보/자료의 집합으로, 수학적으로는 함수로 표현된다.	
아날로그 신호는 시간과 크기 모두 연속적인 값을 가질 수 있는 신호이다.	
디지털 신호는 시간과 크기 모두 이산적인 값만 가질 수 있는 신호이다.	
시스템은 일련의 신호(입력)를 받아들여 어떤 작용을 거쳐 다른 일련의 신호(출력)를 만들어내는 실제로, 수학적으로는 방정식으로 표현된다.	
블록선도는 각 시스템 구성 요소를 블록으로 바꾸고 신호의 흐름에 따라 블록 사이의 연결 관계를 그려 놓은 그림이다.	
디지털 신호 처리는 이산 신호에 대해 디지털 시스템을 이용하여 원하는 목적에 달성하도록 필요한 조작을 가하는 작업이다.	
전형적인 디지털 신호 처리 시스템은 전처리 필터, A/D 변환기, 디지털 시스템, D/A 변환기, 후처리 필터로 구성된다.	[그림 1-7]
디지털 신호 처리는 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 다양한 처리 방식을 구현할 수 있고, 아날로그 신호 처리보다 여러 가지 장점을 지닌다.	
디지털 신호로 바꾸는 과정에서 정보의 손실과 왜곡이 초래된다.	
디지털 신호 처리의 주된 목적은 신호 해석, 정보 추출, 필터링, 신호의 압축과 복원, 시스템 식별과 신호의 예측, 신호의 합성 등이다.	
신호의 파형은 신호의 시간에 따른 값의 변화를 나타낸 것이다.	
진폭은 정현파가 진동하여 가질 수 있는 값의 범위를 가리킨다.	[그림 1-15]
위상은 각으로 표시된 원점에서 코사인파의 꼭짓점까지의 거리이다.	[그림 1-15]
(기본) 주기는 정현파가 같은 파형을 반복하는 (최소) 시간 간격을 말한다.	식 (1.3)
주파수는 정현파가 1초에 같은 파형을 반복하는 횟수이다.	식 (1.4)
주파수가 높아질수록 신호의 파형은 시간적으로 더 급격한 변화를 보인다.	
위상은 신호 파형의 시간 이동과 연관되며, 원래 신호 파형보다 시간적으로 지연될 경우에는 뒤진(음의) 위상을 갖고 선행되는 경우에는 앞선(양의) 위상을 갖게 된다.	식 (1.5)
신호의 에너지는 신호의 크기를 제곱한 것을 시간에 대해 모은 것으로 정의한다.	식 (1.7)
신호의 전력은 신호의 에너지의 시간에 대한 평균값으로 정의한다.	식 (1.8)
신호의 실효값은 에너지의 관점에서 신호의 실제적인 효과를 나타내는 값으로, 전력의 제곱근으로 정의한다.	식 (1.9)
데시벨은 기준 신호에 대한 다른 신호의 전력비를 상용로그를 취한 값의 10배로 정의하며 [dB]로 표기한다.	식 (1.10)

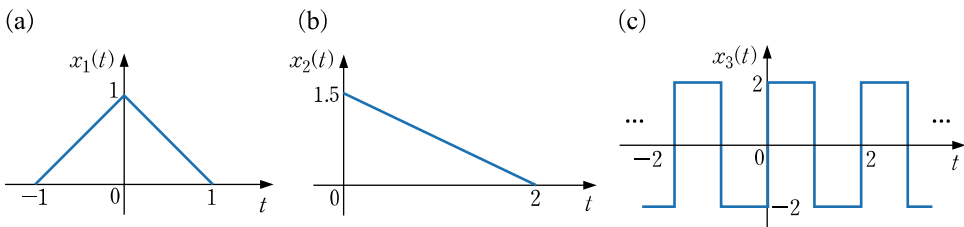
Chapter 01 연습문제

- 1.1 동일한 기능을 수행하는 아날로그 시스템과 디지털 시스템의 예를 각기 하나씩 들고 장단점을 서로 비교하여 설명하라.
- 1.2 연속 신호를 디지털 시스템을 이용하여 처리하는 예를 두 가지만 찾아 그 동작 원리를 간략히 설명하라.
- 1.3 최근 대학 캠퍼스, 빌딩, 아파트 등의 주차장에는 자동으로 번호판을 인식하여 자동차의 출입을 관리하는 주차 관제 시스템이 도입되어 운용되기도 한다. [예제 1-1]과 같이 이 시스템의 동작 원리에 대해 간략히 설명하고 블록선도를 그려라.
- 1.4 다음 그림과 같은 정현파 신호를 $x(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \phi)$ 로 표현할 때 물음에 답하라.



- (a) 진폭 A , 주기 T , 주파수 f_0 , 위상 ϕ 를 결정하라.
- (b) 시간축이 $\frac{1}{20}$ 로 축소되었을 때(즉, 그림의 $t = 20$ 이 $t = 1$ 로 될 때), 진폭 A , 주기 T , 주파수 f_0 , 위상 ϕ 를 결정하라.

- 1.5 다음의 신호에 대해 에너지와 전력을 구하라.



매트랩(MATLAB)은 최근 공학 분야에서 가장 보편적으로 사용되는 소프트웨어로, 신호와 시스템을 컴퓨터를 이용하여 해석하는 데 매우 유용한 수단이다. 이때 MATLAB이란 ‘Matrix Laboratory’를 뜻하는 말로써 그 이름이 말하듯이 배열^{array}, 즉 행렬 또는 벡터를 기본 자료로 사용하여 기능을 수행하는 계산 환경을 제공한다.

매트랩은 이와 같이 사용하기 편리한 환경에서 수치해석, 행렬연산, 신호 처리 및 간편한 그래픽 기능 등을 통합하여 고성능의 수치계산과 결과의 가시화 기능을 제공하는 프로그램이다.

매트랩은 기본적으로 행렬 데이터를 다루고, m-파일로 사용자가 필요한 응용 프로그램들을 손쉽게 작성할 수 있을 뿐만 아니라, 이를 명령어처럼 간편하게 사용할 수 있다. 또한 처리 결과를 시각화하기 수월하므로 C언어 등을 사용하여 프로그램을 작성하는 것에 비해 매우 편리하다.

또한 응용 분야별로 다양한 도구상자^{toolbox}가 개발되어 제공된다. 특히 전기전자공학과 관련한 웬만한 컴퓨터 시뮬레이션 및 개발 작업은 별도의 복잡한 프로그램을 작성할 필요 없이 기존의 도구상자를 활용하여 손쉽게 해결할 수 있다. 따라서 매트랩의 사용은 공학 분야에서 더욱 일반화되리라 예상되므로 잘 익혀두면 크게 도움이 될 것이다. 앞으로 다루게 될 매트랩 프로그램의 소스파일은 <http://www.hanb.co.kr/exam/4030>에서 다운받을 수 있다.

MATLAB 1-1 정현파 그리기

다음과 같이 표현되는 정현파에 대해 다음 조건에 따라 각각의 파형을 그려라.

$$x(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \phi)$$

- (a) 진폭이 다른 정현파 : $f_0 = 1, \phi = 0, A = 1, 2, 3$
- (b) 위상이 다른 정현파 : $A = 1, f_0 = 1, \phi = 0, -\frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{3}$
- (c) 주파수가 다른 정현파 : $A = 1, \phi = 0, f_0 = 1, 2, 3$
- (d) 샘플링 주기가 다른 이산 정현파 : $f_0 = 1, \phi = 0, A = 1, T_s = 0.05, 0.1, 0.2$

풀이

- (a) 매트랩에서는 정현파인 사인과 코사인 함수를 제공하므로, 이를 이용하면 쉽게 그릴 수 있다. 진폭이 다른 정현파에 대한 프로그램은 다음과 같다. 이때 프로그램의 첫 머리(1~3행)에 있는 명령들은 작업을 수행하기 전에 이전의 작업과 관련된 부분들을 모두 지우는 동작이다. 이후의 프로그램에서는 이를 생략하고 나타내지 않을 것이다.

MATLAB_1_1a.m

```

close all;           % 생성된 모든 창을 닫음
clear all;          % 열려있는 작업영역(workspace)을 모두 비움
clc;                % 명령(command) 창을 비움

t=-1:0.01:3;       % 파형의 시간축 설정(-1≤t≤3, 0.01씩 증가)
f0=1;              % 주파수 값 설정
A=[1 2 3];         % 진폭 값 설정
x1=A(1)*cos(2*pi*f0*t); % 진폭이 1인 정현파 생성
x2=A(2)*cos(2*pi*f0*t); % 진폭이 2인 정현파 생성
x3=A(3)*cos(2*pi*f0*t); % 진폭이 3인 정현파 생성

plot(t,x1,'-r')    % 진폭 1인 정현파 그림(선 모양과 색상 지정)
axis([-1 3 -3.5 3.5]); % x축(-1~3)과 y축(-3.5~3.5)의 그림 영역을 설정
hold on           % 같은 그림 창에 계속 그림
plot(t,x2,'-b')   % 진폭 2인 정현파 그림(선 모양과 색상 지정)
plot(t,x3,'k')    % 진폭 3인 정현파 그림(선 모양과 색상 지정)
legend('A=1','A=2','A=3',0) % 파형 구별 범례 표시

```

- (b) 위상이 다른 정현파에 대한 매트랩 프로그램은 아래와 같이 정현파의 계산 부분만 바뀌주면 된다. 이때 세 개의 정현파를 하나의 창에 그릴 때, **hold on** 명령을 쓰지 않고도 나타낼 수 있다.

MATLAB_1_1b.m

```

t=-1:0.01:3;       % 파형의 시간축 설정
f0=1;              % 주파수 값 설정
A=1;               % 진폭 값 설정
phi=[0 -(pi/3) pi/3]; % 위상 값 설정
x1=A*cos(2*pi*f0*t+phi(1)); % 위상이 0인 정현파 생성
x2=A*cos(2*pi*f0*t+phi(2)); % 위상이 -π/3인 정현파 생성
x3=A*cos(2*pi*f0*t+phi(3)); % 위상이 π/3인 정현파 생성
axis([-1 3 -1.2 1.2]); % x축(-1~3)과 y축(-1.2~1.2)의 그림 영역을 설정
plot(t,x1,'-r',t,x2,'-b',t,x3,'k') % 정현파들을 한 그림 창에 그림

```

- (c) 주파수가 다른 정현파에 대한 매트랩 프로그램 역시 정현파 계산 부분만 바뀌주면 된다. 이번에는 명령 **subplot**을 사용하여 그림 창을 세 개로 분할해서 각 정현파를 따로 그려보았다. 물론, 이 경우도 다음에서 살펴볼 조건 (d)와 같이 함수를 만들어 사용하면 프로그램이 더 간단해진다.

MATLAB_1_1c.m

```

t=-1:0.01:3;       % 파형의 시간축 설정
A=1;               % 진폭 값 설정
f0=[1 2 3];        % 주파수 값 설정
x1=A*cos(2*pi*f0(1)*t); % 주파수가 1인 정현파 생성

```

```

x2=A*cos(2*pi*f0(2)*t);           % 주파수가 2인 정현파 생성
x3=A*cos(2*pi*f0(3)*t);           % 주파수가 3인 정현파 생성

subplot(3,1,1)                     % 3행 1열 분할 그림 창의 1번 창
plot(t,x1)                          % 주파수가 1인 정현파 그림
axis([-1 3 -1.2 1.2]);             % x축(-1~3)과 y축(-1.2~1.2)의 영역을 설정
subplot(3,1,2)                     % 3행 1열 분할 그림 창의 2번 창
plot(t,x2)                          % 주파수가 2인 정현파 그림
axis([-1 3 -1.2 1.2]);             % x축(-1~3)과 y축(-1.2~1.2)의 영역을 설정
subplot(3,1,3)                     % 3행 1열 분할 그림 창의 3번 창
plot(t,x3)                          % 주파수가 3인 정현파 그림
axis([-1 3 -1.2 1.2]);             % x축(-1~3)과 y축(-1.2~1.2)의 영역을 설정

```

(d) 이 조건은 샘플링 주기를 달리해서 이산 정현파 $x[n] = x(nT_s) = A \cos(2\pi f_0 n T_s + \phi)$ 를 얻는 경우이다. 매트랩 프로그램에서 이산 신호를 그릴 때는 명령 `stem`을 사용한다. 샘플링 주기만 달리해서 같은 작업을 반복하게 되므로, 다음과 같이 `m`-파일을 이용하여 함수를 만들어 사용하면 편리하다. 이때 (c)의 경우와 비교해보라.

함수 `m`-파일을 만들어 사용할 때 주의할 점은 함수를 불러서 쓰는 프로그램과 함수 `m`-파일이 같은 디렉토리(폴더)에 있어야 한다는 것이다. 즉, 경로가 열려 있지 않으면 연결되지 않는다.

```

sample_signal_1.m
function sample_signal_1(ti,tf,dt,Ts,A,f0,rs,cs,r) % 샘플링 주기에 따른 이산 정현파를 생성해서 그림
t=ti:dt:tf;                                     % t를 ti부터 tf까지 dt 간격으로 증가시킴
xc=A*cos(2*pi*f0*t);                             % 연속 정현파 생성
n=ti:Ts:tf;                                     % t를 Ts 간격으로 샘플링하여 n을 생성
xd=A*cos(2*pi*f0*n);                             % 이산 정현파 생성
subplot(rs,cs,r);                               % rs행 cs열 분할 그림 창의 r번 창
plot(t,xc, 'r');                                % 연속 정현파 포락선을 그림
axis([ti tf -(1.2*A) 1.2*A]);                   % x축(ti~tf)과 y축(-1.2A~1.2A)의 그림 영역을 설정
hold on;                                        % 같은 그림 창에 계속 그림
stem(n,xd);                                     % 샘플링 주기가 Ts인 이산 정현파 그림

```

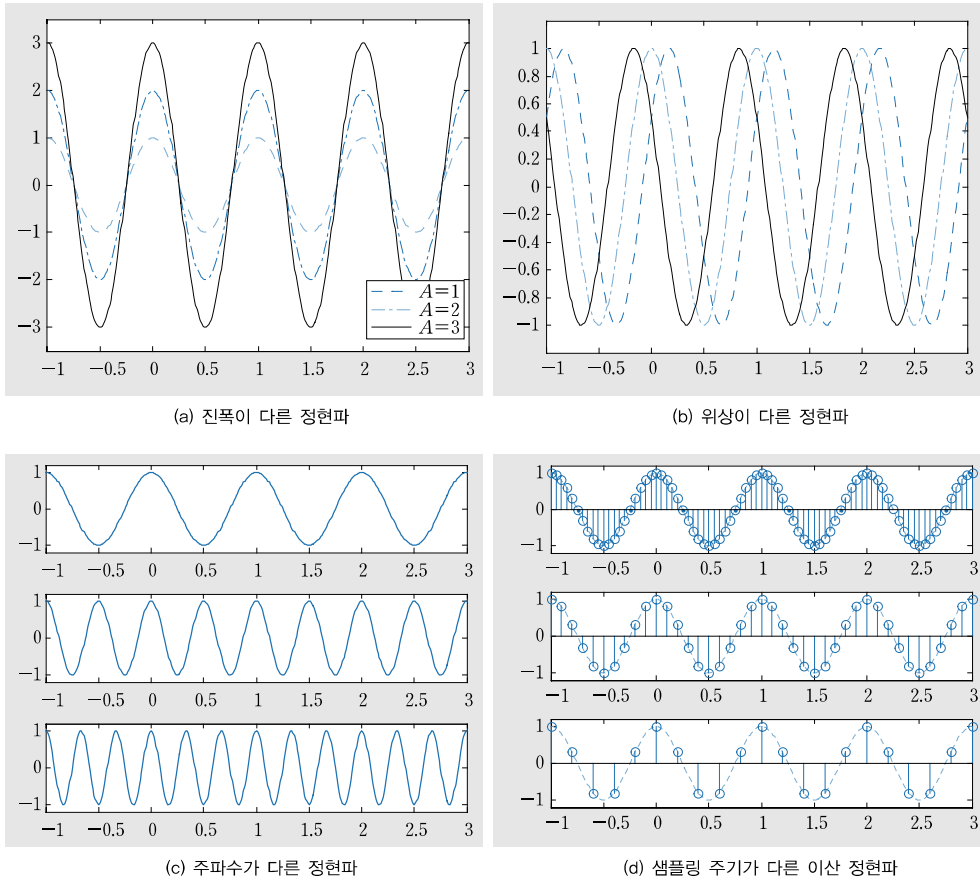
이 함수 `m`-파일을 이용해 주어진 문제를 푸는 프로그램은 다음과 같다.

```

MATLAB_1_1d.m
Ts=[0.05 0.1 0.2];                             % 샘플링 주기 설정
sample_signal_1(-1,3,0.01,Ts(1),1,1,3,1,1);    % 샘플링 주기가 0.05인 이산 정현파 생성
sample_signal_1(-1,3,0.01,Ts(2),1,1,3,1,2);    % 샘플링 주기가 0.1인 이산 정현파 생성
sample_signal_1(-1,3,0.01,Ts(3),1,1,3,1,3);    % 샘플링 주기가 0.2인 이산 정현파 생성

```

위의 매트랩 프로그램들을 실행해서 얻은 결과를 [그림 1-17]에 순서대로 나타내었다.



[그림 1-17] [MATLAB 1-1]의 신호 파형

MATLAB 1-2 신호의 에너지와 전력 계산하기

다음과 같은 신호에 대하여 신호의 파형을 그리고, 에너지와 전력을 구하라.

$$x(t) = 3\pi \sin(8\pi t + 1.3) \cos(4\pi t - 0.8) e^{\sin(12\pi t)}$$

$$y(t) = \begin{cases} x(t), & 0.2 \leq t \leq 0.7 \\ 0, & \text{그 외} \end{cases}$$

풀이

$\sin(8\pi t)$ 는 주기가 $\frac{1}{4}$, $\cos(4\pi t)$ 는 주기가 $\frac{1}{2}$ 이므로, 주어진 신호 $x(t)$ 는 주기 $T = \frac{1}{2}$ 인 주기 신호이며, $y(t)$ 는 $x(t)$ 의 한 주기를 취한 유한 구간 신호이다. 따라서 $x(t)$ 는 에너지가 무한하므로 전력만, $y(t)$ 는 전력이 0이므로 에너지만 계산하면 된다.

다음의 식을 사용하여 신호의 에너지와 전력을 계산하려면 적분 연산이 필요하다.

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

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

매투랩에서는 심프슨(Simpson) 공식을 이용하여 1차원 적분을 수행하는 명령 `quad`를 제공하고 있다. `quad`를 사용하려면 피적분식을 다음과 같이 함수 m-파일로 만들어야 한다.

```
int_fctn_1.m
```

<pre>function xs=int_fctn_1(t) a=4*pi*t; x=3*pi*sin(2*a+1.3).*cos(a-0.8).*exp(sin(3*a)); xs=x.^2;</pre>	<pre>% 피적분 함수 생성 함수 프로그램 % 주파수 변수 값 생성 % 신호 생성 % 신호 제곱 값 생성</pre>
---	---

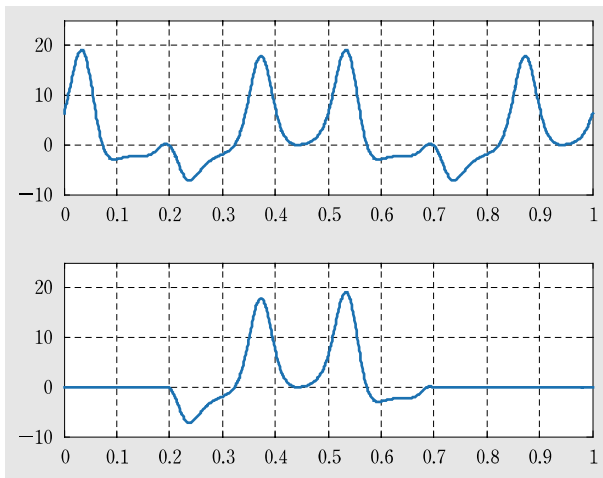
주어진 신호의 파형을 그리고, 에너지와 전력을 계산하는 매투랩 프로그램은 다음과 같다.

```
MATLAB_1_2.m
```

<pre>t=0:0.001:1; x=3*pi*sin(8*pi*t+1.3).*cos(4*pi*t-0.8).*exp(sin(12*pi*t)); y=0.*(t<0.2)+x.*(t>=0.2)-x.*(t>0.70); Px=(1/0.5)*quad('int_fctn_1',0,0.5) Ey=quad('int_fctn_1',0.2,0.7) figure; subplot(2,1,1); plot(t,x); axis([0 1 -10 25]); grid on; subplot(2,1,2); plot(t,y); axis([0 1 -10 25]); grid on;</pre>	<pre>% 파형의 시간축 설정 % x(t) 생성 % y(t) 생성 % x(t)의 전력 계산(한 주기 평균) % y(t)의 에너지 계산 % 그림 창 생성 % 2행 1열 분할 그림 창의 1번 창 % x(t) 파형 그림 % x축과 y축 영역 설정, 그리드 표시 % 2행 1열 분할 그림 창의 2번 창 % y(t) 파형 그림 % x축과 y축 영역 설정, 그리드 표시</pre>
---	--

이 프로그램이 실행되면 명령 창에 다음과 같이 $x(t)$ 의 전력과 $y(t)$ 의 에너지를 계산한 결과가 표시된다. 또한 [그림 1-18]과 같이 신호 파형이 그려진다.

```
Px =
    54.7550
Ey =
    27.3775
```



[그림 1-18] [MATLAB 1-2]의 신호 파형