

계측공학 4주차-1

👤 생성자	👤 재환 김
🏷 태그	엔지니어링

1. 위치 · 변위 계측

- **위치(position)**란, 센서에서 여러 의미로 사용됩니다.
 - **절대위치(absolute position)**는 선택된 기준점에 대해 물체의 좌표를 결정하는 것을 말합니다. 이는 특정 기준을 바탕으로 물체의 정확한 위치를 측정하는 방식입니다.
 - **변위(displacement)**는 물체가 한 위치에서 다른 위치로 이동한 거리를 뜻합니다. 이 때, 거리는 선형 거리나 각도를 포함할 수 있습니다.
 - **근접(proximity)** 센서는 on/off 출력에 따라 물체가 일정 거리 내에 있는지 여부를 측정하는 방식입니다.
 - 물체의 위치, 변위, 근접, 그리고 물체의 존재 유무를 검출하는 센서는 산업적으로 매우 중요한 역할을 합니다. 이는 자동화 시스템에서 물체의 움직임을 정확하게 파악하는 데 필수적입니다.

2. 변위 센서의 개요

- **변위센서(displacement sensor)**는 물체의 이동 정도를 측정하는 센서로, 크게 두 가지로 나뉩니다:
 - **직선 변위(linear displacement)**: 직선상에서 물체가 얼마나 이동했는지 측정합니다.
 - **회전 변위(angular displacement)**: 물체가 회전할 때, 회전각을 측정합니다.

3. 변위센서의 종류

변위센서의 종류와 이를 검출하는 방식은 여러 가지가 있으며, 아래 표로 정리됩니다:

직선 변위 센서

- **LVDT (Linear Variable Differential Transformer)**: 직선 변위를 측정하는 전자기 유도 방식 센서.
- **정전용량형**: 두 전극 간의 전기용량 변화를 이용하여 변위를 측정하는 센서.

- **포텐쇼미터**: 저항값의 변화를 통해 변위를 측정하는 센서.

회전 변위 센서

- **RVDT (Rotary Variable Differential Transformer)**: 회전 변위를 측정하는 전자기 유도 방식 센서.
- **싱크로**: 전기 신호를 통해 각도 정보를 전달하는 회전 변위 센서.
- **리졸버**: 전자기적 원리를 이용해 회전각을 검출하는 센서.
- **광학엔코더**: 광학적 방식으로 회전각을 정확하게 측정하는 센서.
- **자기식(홀 소자, MR)**: 자기장의 변화를 이용하여 회전각을 검출하는 센서.

3-1 포텐쇼미터 (Potentiometer)

- **포텐쇼미터**는 변위를 직접 **전기저항**으로 변환하는 센서입니다.
 - 부가회로에 의해 저항값을 전압 또는 전류로 다시 변환하여 변위를 측정합니다.
 - 이 센서는 **직선 변위**와 **회전 변위** 모두를 측정할 수 있습니다.
 - **종류**로는 저항식, 자기식, 광학식 등이 있습니다.

저항식 변위센서 (Resistive Displacement Sensor)

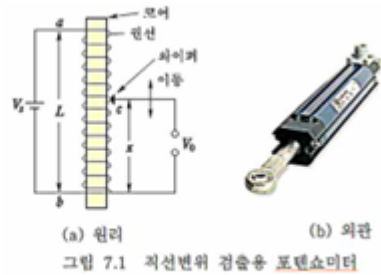
- 저항식 변위센서를 흔히 **포텐쇼미터**라고 부릅니다.
 - **구성**: 간단한 변위센서로, 두 단자에 전압을 가한 상태에서 피측정 물체에 연결된 와이퍼(wiper)가 저항체 위를 이동하면서 변위에 대응하는 전압을 얻습니다.
 - 이 센서는 직선 변위와 회전 변위 모두 측정할 수 있으며, 측정 원리는 동일합니다.

측정 원리

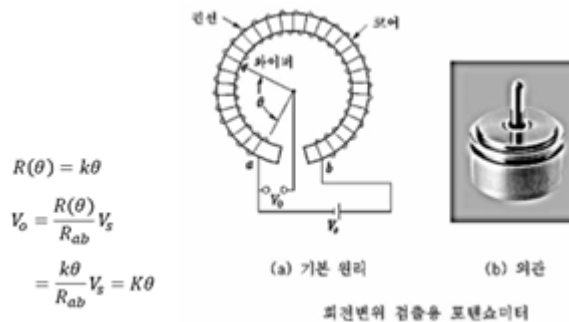
- **직선 변위 검출**: 저항체와 와이퍼가 직선적으로 이동하는 **와이퍼 이동** 방식으로 변위를 측정합니다.
- **출력 전압**은 변위에 비례하며, 변위 x 에 대해 **출력 전압**이 선형 관계를 갖습니다. x
 - 예를 들어, 직선 변위 센서의 검출 범위는 일반적으로 ****수십 [mm]****에서 ****수백 [mm]****에 해당합니다.

$$V_o = \frac{R_{ab}}{R_{ab}} V_s$$

$$= \frac{x}{L} V_s = Kx$$



회전 변위 측정



$$R(\theta) = k\theta$$

$$V_o = \frac{R(\theta)}{R_{ab}} V_s$$

$$= \frac{k\theta}{R_{ab}} V_s = K\theta$$

- **회전 검출:** 회전식 포텐쇼미터에서는 와이퍼가 저항체를 회전하면서 이동하여 저항값이 변합니다. 이때, 회전각도에 비례하는 전압을 출력하게 됩니다.

공식 설명

- 그림에서 보여지는 전압 공식:

$$V_o = V_s \times (R_b/R_s) \quad V_o = V_s \times (R_b/R_s)$$

- 여기서 V_o 는 출력 전압, V_s 는 입력 전압, R_b 는 저항의 일부, R_s 는 총 저항입니다.

출력 전압

- **저항과 온도 영향:** 저항 R_0 와 $R(x)$ 가 온도에 의해 $x\%$ 만큼 변화하더라도 출력 전압 V_o 의 값은 변하지 않습니다.
 - 이는 포텐쇼미터가 외부 환경의 온도 변화에 강한 특성을 가지고 있다는 것을 의미합니다.
- **회전형 포텐쇼미터:**
 - **회전형 포텐쇼미터**에는 크게 두 종류가 있습니다.

- **단일 회전형(single-turn)**: 1회전만 가능한 포텐쇼미터.
- **다회전형(multi-turn)**: 여러 회전을 통해 보다 정밀한 제어가 가능합니다.
 - **회전 각도**는 일반적으로 0도에서 360도까지 측정되며, 다회전형의 경우 10회전 이상의 각도 측정도 가능합니다. 이를 통해 넓은 범위의 회전각을 측정할 수 있습니다.
- **출력 전압과 변위의 관계**: 출력 전압은 변위에 **비례**합니다. 즉, 물체가 이동하거나 회전하는 정도에 따라 출력되는 전압도 비례해서 변합니다. 이로 인해 변위를 쉽게 전기 신호로 변환할 수 있어 다양한 분야에서 활용됩니다.

주요 특성 및 재료

포텐쇼미터에 사용되는 각종 저항체의 특성

	도전성 플라스틱	권 선	하이브리드
분해능	무한소	양자화	무한소
전력정격	낮 음	높 음	낮 음
온도 안정성	부 족	우 수	양 호
값 음	매우 낮음	낮음, 그러나 시간이 지남에 따라 나빠짐	낮 음
수 명	$10^6 \sim 10^8$ 사이클	$10^5 \sim 10^6$ 사이클	$10^6 \sim 10^7$ 사이클

- **저항체의 종류**: 저항식 변위센서에 사용되는 **저항체**는 여러 재료로 만들어집니다.
 - **가늘게 감은 저항선(wirewound element)**: 저항체에 저항선을 가늘게 감아 변위를 측정하는 방식입니다.
 - **카본(carbon)**: 도포된 탄소 물질을 이용해 저항값을 측정하는 방식입니다.
 - **도전성 플라스틱(conductive plastic)**: 도전성 재질을 가진 플라스틱을 사용하여 저항을 측정합니다.

포텐쇼미터의 저항 재료별 특성

표에 따르면, 각 재료는 특성별로 차이가 있습니다:

- **와이어 저항선**: 저항 변화가 작으며, 높은 정밀도를 가지고 있습니다. 다만, 비용이 상대적으로 높고, 내구성이 우수합니다.
- **카본**: 가격이 저렴하고, 온도 변화에 민감하지만 내구성은 상대적으로 낮습니다.
- **도전성 플라스틱**: 저항의 정밀도가 높고, 온도 변화에도 강합니다. 내구성도 우수해 다양한 환경에서 사용됩니다.

특성

저항을 사용하는 접촉식 포텐쇼미터는 다음과 같은 **단점**을 가지고 있습니다:

- **마찰력이 큼니다.**
 - 포텐쇼미터는 물체가 움직일 때 물리적으로 저항체와 접촉하면서 마찰이 발생합니다.
- **피측정 물체와 물리적 접촉이 필요합니다.**
 - 포텐쇼미터는 와이퍼(wiper)가 저항체 위를 이동하면서 변위를 측정하기 때문에 반드시 물리적인 접촉이 필요합니다.
- **속도가 느립니다.**
 - 물리적 접촉에 의해 속도와 반응 시간이 제한됩니다.
- **마찰 및 구동전압이 저항선에 가해집니다.**
 - 이로 인해 저항선이 마모되고, 성능이 저하될 수 있습니다.
- **환경적 안정성이 낮습니다.**
 - 포텐쇼미터는 외부 충격이나 온도 변화 등 환경적 요인에 약한 편입니다.

접촉식 포텐쇼미터의 한계

- **신뢰성 문제:** 와이퍼의 마모로 인해 수명이 짧아지며, 상시 미동(微動)이나 진동이 발생하는 장소에서는 사용이 부적절할 수 있습니다.
 - 접촉에 의한 신뢰성 저하가 주요 문제점으로 작용합니다.

최근 발전

- **비접촉식 포텐쇼미터:** 저항체와 와이퍼가 직접 접촉하지 않는 방식의 포텐쇼미터가 발전하고 있습니다.
 - 수명과 신뢰성이 접촉식에 비해 훨씬 우수합니다.

비접촉식 방식의 장점

- **자기저항 효과와 광도전 효과**를 활용하여 변위를 측정합니다.
 - 접촉식의 마모 문제를 해결하면서도 높은 정밀도를 유지합니다.

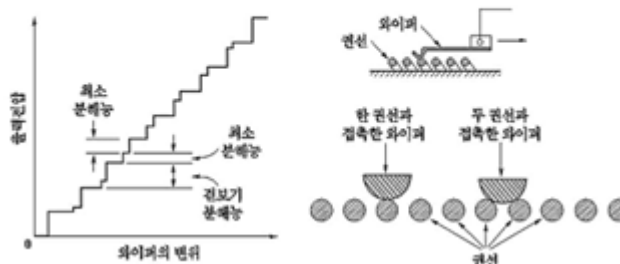
주요 소재

- **금속 합금**(예: 니켈-크롬, 구리-니켈 등)이 사용되는 **와이어 감은 저항체**는 신뢰성이 높습니다.
 - 이 방식에서는 슬라이더(slidebar)가 권선 위에서 최소 마찰로 이동하며, 저항 값 변화를 유발합니다.

- **도전성 플라스틱:** 최근에는 저항선 대신 도전성 플라스틱을 사용하는 포텐쇼미터가 개발되었습니다.
 - 이 방식은 저항선 방식에 비해 **수명이 길고**, 반복적으로 사용할 수 있는 능력이 뛰어납니다.
 - **10억 회** 정도의 반복성을 가지며, **정밀도는 0.1% 내외**입니다.

권선형 포텐쇼미터의 분해능

• 권선형 포텐쇼미터의 분해능



- **자기 포텐쇼미터**는 자기저항 소자(MR 소자)를 저항체로 사용하는 **비접촉식 포텐쇼미터**입니다. 이는 **contact-less potentiometer**라고 불리며, 물리적인 접촉 없이 저항을 측정할 수 있는 방식입니다.
 - **자기저항 효과:** 자계(자기장)의 세기가 증가하면 금속 물질 내에서 반도체나 금속 자성체의 전기저항이 증가하는 현상을 말합니다.

• 구성 원리

- 자계에 의해 전기저항이 변하는 MR 소자(저항값 R_f)를 고정시키고, 영구자석을 회전축에 설치하여 동작합니다.

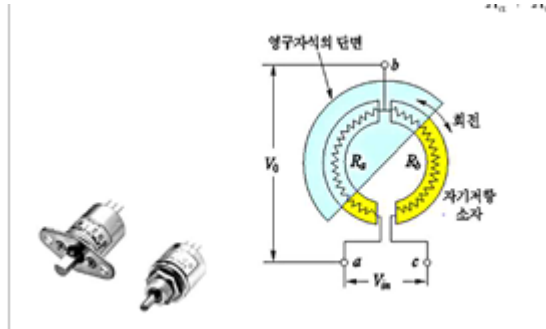
$R_f R_f$

- **와이퍼(wiper)**가 영구자석의 회전축을 회전시키면, 자석 밑에 있는 MR 소자의 저항이 증가하게 됩니다.
 - 이러한 방식으로 물체의 회전 각도를 측정할 수 있으며, 회전각에 따라 출력 전압이 비례하게 변화합니다.
- ### • 회전각에 따른 출력 전압 공식

$$V_O = \frac{R_f}{R_f + R_s} V_S$$

여기서:

- V_O 는 출력 전압
- R_f 는 MR소자의 저항
- R_s 는 고정 저항
- V_S 는 입력 전압입니다.



• 자석 위치에 따른 저항 변화

- 자석이 와이퍼의 특정 위치에 있을 때, 예를 들어 (a) 또는 (e) 위치에서는 MR 소자의 저항이 최소화됩니다.
- 자석이 와이퍼의 중앙에 가까워질수록 MR 소자의 저항이 증가하여 출력 전압도 비례하여 증가합니다.

자석 위치에 따른 MR 소자의 저항

1. *자석 위치가 (b)와 (d)**일 때, MR 소자의 저항:

- 자석이 MR 소자의 중앙에서 벗어나 있는 (b)와 (d) 위치에서는 MR 소자의 저항이 중간 수준으로 측정됩니다.
- 이때, 출력 전압은 다음과 같은 공식에 의해 계산됩니다:

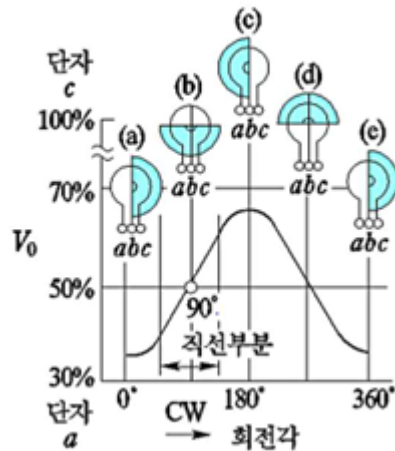
$$V_O = R_f + R_s R_f V_S$$

이는 MR 소자의 저항이 R_s 보다 크지 않은 경우입니다.

$$V_O = R_f R_f + R_s V_S V_O = \frac{R_f}{R_f + R_s} V_S$$

자기형 포텐쇼미터의 특성

자기형



- 자기형 포텐쇼미터는 무접촉 방식으로 동작하므로 여러 장점을 가집니다:

1. 접촉에 의한 마모가 거의 없습니다.

- 물리적으로 접촉하는 부분이 없기 때문에, 마찰에 의해 부품이 손상되거나 마모되지 않습니다.

2. 수명이 영구적입니다.

- 마모가 발생하지 않으므로 장기간 사용할 수 있으며, 유지보수가 거의 필요 없습니다.

3. 회전축의 베어링에 의해 유지되는 회전 토크가 작습니다.

- 무접촉 방식으로 회전할 때 저항이 거의 발생하지 않아 부드럽게 동작합니다.

4. 고속 응답성이 우수합니다.

- 빠른 회전이나 변위에도 즉각적으로 반응하여 정확한 출력 신호를 생성할 수 있습니다.

5. 분해능이 매우 우수합니다.

- 작은 움직임에도 높은 정밀도로 반응하여 미세한 변위도 감지할 수 있습니다.

응용

- MR 소자를 사용하는 자기 포텐쇼미터는 여러 응용 분야에서 사용됩니다.

- **서보모터**의 회전각 측정: 서보모터의 정확한 위치와 회전각을 측정하여 제어하는데 사용됩니다.
- **ATM**이나 **OCR**에서 종이 두께 측정: 종이의 두께를 정밀하게 측정하기 위해 사용됩니다.

- **밸브의 각도 측정:** 밸브의 열림 또는 닫힘 각도를 감지하여 제어할 수 있습니다.
- **액체의 수위 측정:** 액체의 높이나 수위를 측정하여 적절한 수준을 유지하도록 합니다.

4. 포텐쇼미터

포텐쇼미터는 **변위를 전기저항의 변화로 변환**하는 센서입니다.

부가회로에 의해 이 저항 변화를 전압 또는 전류로 변환하여 다시 출력 신호로 나타냅니다.

포텐쇼미터는 크게 **직선 변위**와 **회전 변위**를 측정할 수 있으며, **측정 방식**에 따라 아래와 같이 분류됩니다:

1. 저항식 변위센서(Resistive Displacement Sensor):

- 일반적으로 **포텐쇼미터**라고 불립니다.
- 물리적인 저항체와 와이퍼가 접촉하며 저항 값을 변화시키는 방식입니다.

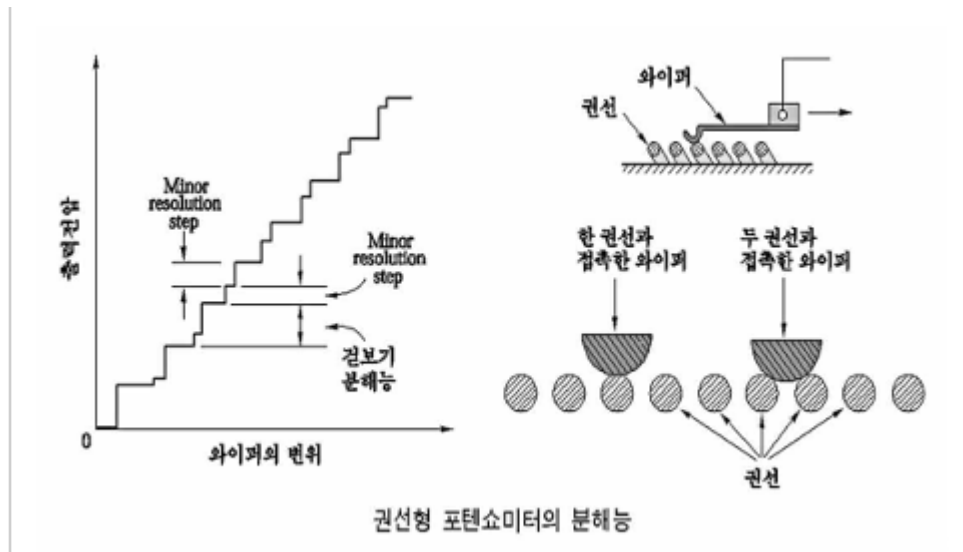
2. 자기 포텐쇼미터:

- **비접촉식 포텐쇼미터**의 대표적인 예입니다.
- MR 소자와 같은 자기저항 소자를 사용하여 회전 각도를 측정하는 방식입니다.
- 물리적 접촉이 없기 때문에 마모가 거의 없고, 장기간 안정적으로 사용할 수 있습니다.

3. 광학식 포텐쇼미터:

- 광학 신호를 이용하여 위치나 변위를 측정하는 방식입니다.
- **비접촉식**이지만, 일반적으로 잘 사용되지 않습니다.

권선형 포텐쇼미터의 분해능



아래의 그림에서 보여지듯이, **권선형 포텐쇼미터**는 권선에 따라 작은 단계를 가지며, 변위를 측정하는 해상도는 **주해상도**(major resolution)와 **미세해상도**(minor resolution)로 나뉩니다.

- **주해상도**는 권선의 각 구간을 의미하며, 각 권선의 한 칸씩 이동할 때 측정되는 단계입니다.
- **미세해상도**는 한 권선 안에서도 더 작은 움직임을 측정할 수 있는 기능을 나타냅니다.

포텐쇼미터의 신호처리에서 중요한 사항

1. 결보기분해능과 최소단위 구별:

- 포텐쇼미터는 변위의 연속적인 값을 측정하지만, 이를 처리하는 과정에서는 **결보기 분해능**(resolution)과 **최소단위**(minimum unit)를 구별하여 정확한 신호를 처리해야 합니다.
- 변위 측정 시 신호가 아날로그이든 디지털이든, 분해능이 적절하지 않으면 측정에 오차가 발생할 수 있습니다.

2. 신호처리에서 주의해야 할 점:

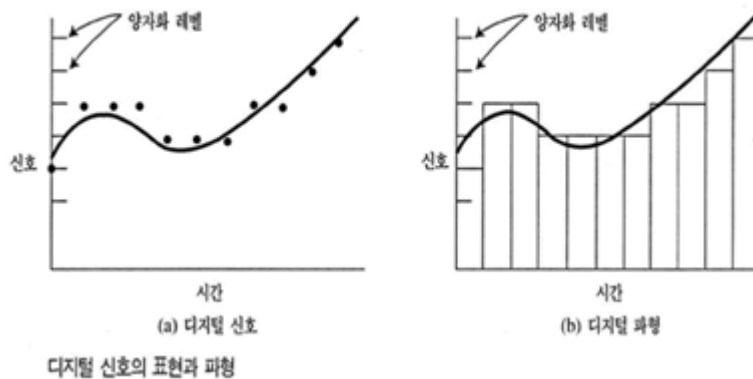
- 포텐쇼미터에서 출력된 신호를 처리할 때는, 신호의 성질과 측정 방식을 고려하여 적절한 처리를 해야 합니다.
- 이를 위해 신호가 아날로그 신호인지 디지털 신호인지에 따라 처리 방식이 달라집니다.

신호 (Signal)

- **신호의 정의:**

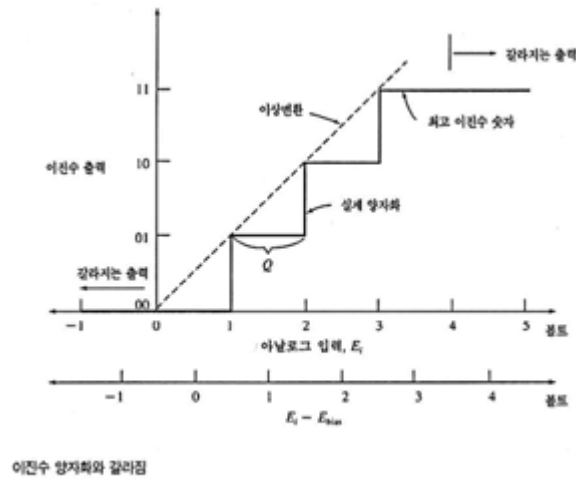
- 신호는 어떤 프로세스나 계측 시스템 사이 또는 시스템의 각 단계 사이에 전달되는 **측정 변수**에 대한 정보를 나타냅니다.
- 이는 물리적 상태나 현상을 전기적 신호로 변환한 값이 될 수 있습니다.
- **파형의 분류 (Classification of waveforms):**
 - **아날로그 신호(Analog):** 시간이 **연속적**으로 표현되며, 변위나 회전각의 변화를 끊김 없이 부드럽게 측정합니다. 예를 들어, 온도 변화와 같은 연속적인 물리량을 표현할 때 사용됩니다.
 - **이산신호(Discrete time):** 시간이 **이산적**으로 표현되는 신호입니다. 연속적인 물리량을 일정 간격으로 **샘플링**하여 표현하는 방식입니다.
 - **디지털 신호(Digital):** 불연속적으로 시간을 양자화(quantization)하여 표현합니다. 이는 연속적인 값을 일정한 값으로 나누어 표현하는 방식으로, 대부분의 컴퓨터 시스템에서 처리되는 신호입니다.

그래프 설명



- **(a) 아날로그 신호**는 시간에 따라 부드럽고 연속적인 변화를 보입니다.
- **(b) 디지털 신호**는 연속적인 아날로그 신호를 샘플링하여, 일정 간격으로 값을 양자화한 형태로 나타냅니다. 이는 실제로 불연속적인 데이터를 가지며, 이를 통해 변위나 회전각을 디지털로 표현할 수 있습니다.

그래프 설명



- **X축:** 아날로그 입력 E_i 입니다. 이 값은 연속적인 신호로 표현됩니다. 이는 원래의 물리량 (예: 온도, 압력 등)을 나타내는 값입니다.

$E_i - E_{\text{min}}$

- **Y축:** 양자화된 출력 값으로, **디지털 값**으로 변환된 신호를 나타냅니다.
 - 이 값은 **강화된 출력**과 **이산화된 출력**으로 구분됩니다.

그래프 구성 요소

1. 이산화 출력:

- 이 부분은 아날로그 입력 신호가 디지털화되면서 발생하는 **단계적 변화**를 보여줍니다.
- **양자화**는 입력 신호를 일정한 간격으로 나누어 각 구간에 해당하는 고정된 값을 출력합니다.
- 따라서, 그래프에서 보이는 계단 모양은 신호가 연속적이지 않고 구간별로 변화하는 모습을 반영한 것입니다.

2. 강화된 출력:

- 이 선은 원래 아날로그 신호를 따라가며, 더 **정밀하게 추적**한 신호를 나타냅니다.
- 아날로그 입력이 더 세밀하게 표현된 것으로, 양자화 오차가 없는 이상적인 출력을 나타내고 있습니다.

3. 최소 양자화 단위:

- 이 부분은 양자화할 때 입력 신호가 어느 정도의 작은 차이를 넘어야 신호로 인식되는지를 보여줍니다.

- 이때 작은 변화는 무시되고 일정 간격을 넘어서야 비로소 신호가 달라진 것으로 인식됩니다. 이는 **양자화 오차**로 이어질 수 있습니다.

4. 최고 이산화 숫자:

- 아날로그 신호가 매우 높을 때, 디지털화된 값은 그 범위를 모두 나타낼 수 없기 때문에 최대값에서 잘리는 구간을 나타냅니다.