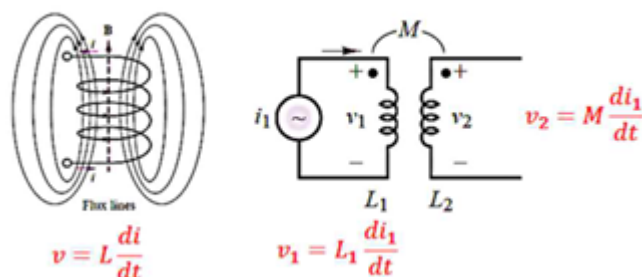


계측공학 4주차-2

👤 생성자	👤 재환 김
🏷 태그	엔지니어링

1. 전자유도식 변위센서

전자유도식 변위센서



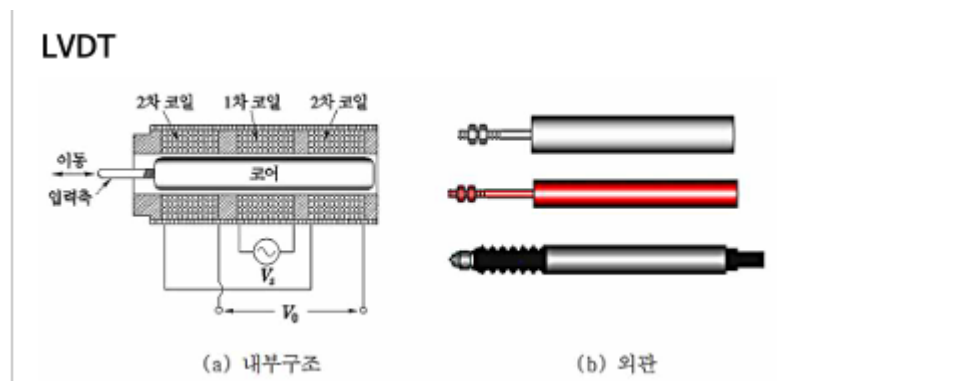
- **정의:** 이 센서는 ****자기회로(magnetic circuit)****의 원리를 이용하여, 물리적 위치 변화를 감지하고 이를 전기 신호로 변환하는 장치입니다.
- **종류:**
 - **LVDT (Linear Variable Differential Transformer):** 가장 많이 사용되는 유도식 변위센서로, 선형 변위 측정에 사용됩니다.
 - **싱크로(Synchro):** 각도 변환용 유도 변위센서입니다.
 - **리졸버(Resolver):** 복잡한 각도 변환용으로 사용되는 센서입니다.

2. LVDT (Linear Variable Differential Transformer) 세부 설명

- **구조:**
 - ***1차 코일(primary coil)***과 ***2개의 2차 코일(secondary coil)***로 구성됩니다. 이 코일들은 자기 회로를 형성하며, ****피동 철심(iron core)****이 이 코일들 사이에서 이동하면서 위치 정보를 전기 신호로 변환합니다.
 - **철심**은 움직이는 물체에 연결되어 있으며, 물체가 이동할 때 철심도 함께 이동하게 됩니다.
- **작동 원리:**

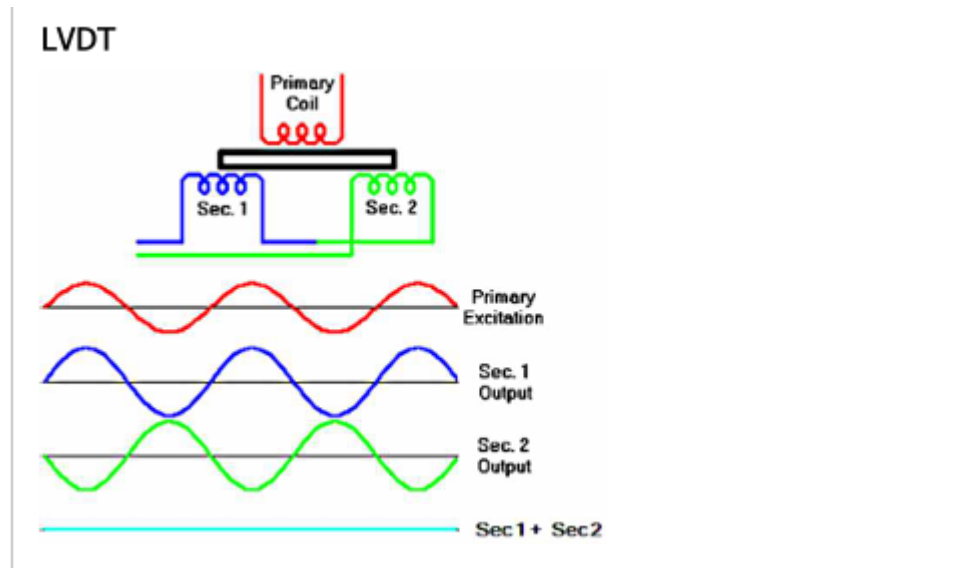
- 1차 코일에 교류 전압이 인가되면, 1차 코일에 의해 유도된 전자기장에 의해 2차 코일에 전류가 유도됩니다. 철심이 움직이면 2차 코일에서 유도되는 전압의 크기와 방향이 변하게 됩니다.
- 철심의 위치가 정확히 중앙에 있을 경우, 두 2차 코일에서 발생하는 전압의 차이가 상쇄되어 출력 전압은 0이 됩니다.
- 철심이 움직이면서 1차 코일과 가까워지면, 그 위치에 따라 두 2차 코일에서 발생하는 전압의 차가 달라지고, 이 전압 차이를 통해 철심의 위치를 측정할 수 있습니다.
- **이점:** LVDT는 비접촉 방식으로 동작하므로, 마모가 없고 매우 높은 정밀도를 유지할 수 있습니다. 또한 선형 특성이 매우 우수하여 정밀한 위치 측정에 적합합니다.

3. LVDT의 내부 구조와 외관



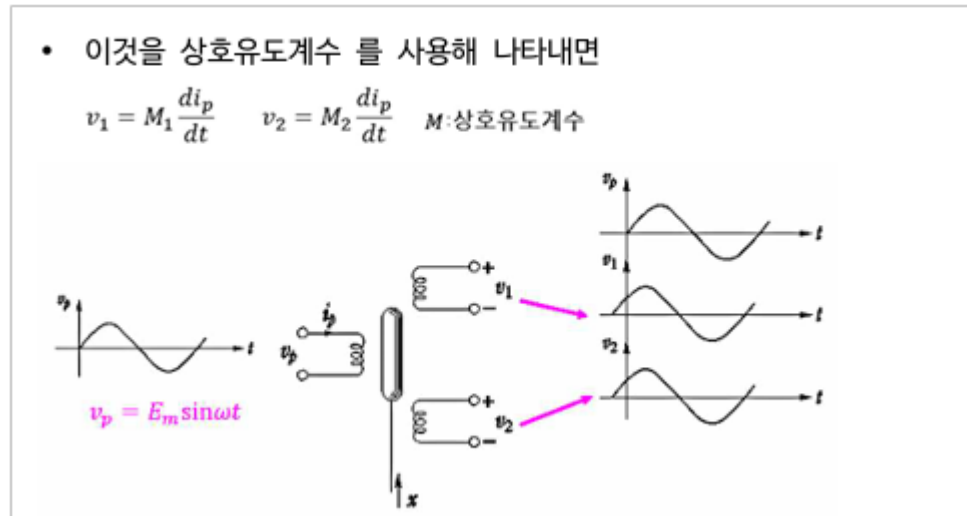
- **내부 구조 (그림 a):**
 - **1차 코일**은 가운데에 위치하며, **2개의 2차 코일**이 양옆에 배치되어 있습니다.
 - **이동 철심**이 가운데 부분을 이동하며 1차 코일과 2차 코일 사이의 전자기 상호작용을 변화시킵니다.
 - 철심이 움직이면 두 2차 코일에서 유도되는 전압의 비율이 변하여, 철심의 위치를 전기적으로 측정할 수 있습니다.
- **외관 (그림 b):**
 - 외관에서 볼 수 있듯이 LVDT는 실린더 형태의 하우징 속에 코일과 철심이 들어가 있으며, 이동하는 물체에 부착되어 피동적으로 움직입니다.

4. LVDT의 원리 설명 (파형 다이어그램)



- **1차 측에 교류 전압을 인가:** 1차 코일에 정현파 전압 $v_p = E_0 \sin \omega t$ 를 인가하면, 이 교류 전압이 상호 유도작용을 통해 2차 코일들에 전압을 유도합니다.
- **2차 코일의 출력 전압:**
 - 그림에서 보이듯이, **Sec.1 코일**과 **Sec.2 코일**에서 발생하는 전압의 위상이 약간 다르지만, 동일한 정현파 형태로 나타납니다.
 - 철심이 중앙에 위치하면, 두 2차 코일에서 발생하는 전압이 서로 상쇄되어 출력 전압이 0이 됩니다.
 - 철심이 한쪽으로 이동하면, 그에 따라 한쪽 2차 코일에서 유도되는 전압이 증가하고, 다른 쪽의 전압은 감소하여 출력 전압이 그 차이로 나타납니다.
- **출력 전압 계산:**
 - **Sec.1 + Sec.2:** 두 2차 코일에서 유도된 전압들의 합을 통해 철심의 위치를 알아낼 수 있으며, 이 때 출력 전압 V_0 는 위치에 따라 선형적으로 변합니다.

5. 상호 유도계수(Mutual Inductance)의 적용

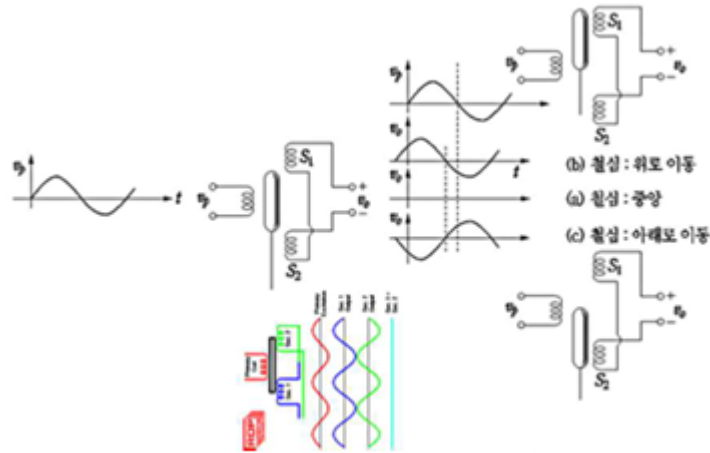


- **1차 코일**에서 생성된 전자기 유도에 의해 2차 코일에 유도된 전압 v_1 과 v_2 는 상호 유도 계수 M_1, M_2 를 사용하여 아래와 같이 표현됩니다:
- $v_1 = M_1 * (di_p/dt), v_2 = M_2 * (di_p/dt)$
- 여기서:
 - M_1 과 M_2 는 1차 코일과 각각의 2차 코일 간의 상호 유도계수입니다.
 - di_p/dt 는 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율입니다.
- **정현파 전압 입력:**
 - 1차 코일에 입력되는 교류 전압은 $v_p = E_m * \sin(\omega t)$ 형태로 나타납니다.
 - 이 교류 전압이 상호 유도에 의해 2차 코일로 전달되면서 각각의 2차 코일에서 유도된 전압 v_1 과 v_2 는 위상 차이가 발생하지만 기본적인 정현파 형태를 따르게 됩니다.

6. 출력 전압 v_0 계산

- **출력 전압**은 두 2차 코일에서 유도된 전압의 차이로 나타납니다:
- $v_0 = v_1 - v_2 = M_1 * (di_p/dt) - M_2 * (di_p/dt) = (M_1 - M_2) * (di_p/dt)$ 이 때, **출력 전압**은 상호 유도계수 M_1 과 M_2 의 차이에 비례합니다. 이는 철심의 위치에 따라 두 상호 유도계수가 달라지기 때문에, 철심의 위치 변화에 따라 출력 전압이 달라지게 되는 원리입니다.
- **철심이 중앙에 위치할 경우:** $M_1 = M_2, v_0 = 0$ 철심이 정확히 중앙에 위치할 때, 두 2차 코일의 상호 유도계수가 같아져 출력 전압은 0이 됩니다. 이 상태에서는 두 코일에서 발생하는 전압이 상쇄되므로 출력 전압이 0이 됩니다.

7. 철심의 위치에 따른 출력 변화



- **철심이 이동할 경우:**

- 철심이 한쪽으로 이동하면, 해당 방향의 코일에서 유도되는 전압이 증가하고 반대 쪽에서는 감소합니다. 따라서 출력 전압은 철심의 이동 방향과 그에 따른 상호 유도 계수 차이에 비례하여 증가하거나 감소하게 됩니다.
- 이 때 출력 전압은 철심의 선형적 이동에 비례하므로, 매우 정밀한 위치 제어와 측정이 가능합니다.

8. LVDT의 정리

- LVDT는 상호 유도 원리를 이용하여 철심의 위치 변화를 전압 신호로 변환하는 매우 민감한 센서입니다.
- 철심이 중앙에 위치하면 출력 전압은 0이 되고, 철심이 이동할수록 출력 전압은 그에 비례하여 변화합니다.
- 이 원리를 통해 LVDT는 **비접촉식 변위 측정**에서 매우 높은 정밀도를 제공하며, 기계적 마모가 없는 내구성 있는 방식으로 널리 사용됩니다.

9. 철심이 위로 또는 아래로 이동하는 경우

- **철심이 위로 이동하는 경우:**
- $M_1 > M_2$ 일 때, 즉 철심이 **Sec.1** 쪽으로 이동하면, $v_1 > v_2$ 가 되어 출력 전압 v_0 는 양의 값을 가지게 됩니다.
- 출력 전압은 다음과 같이 표현됩니다:

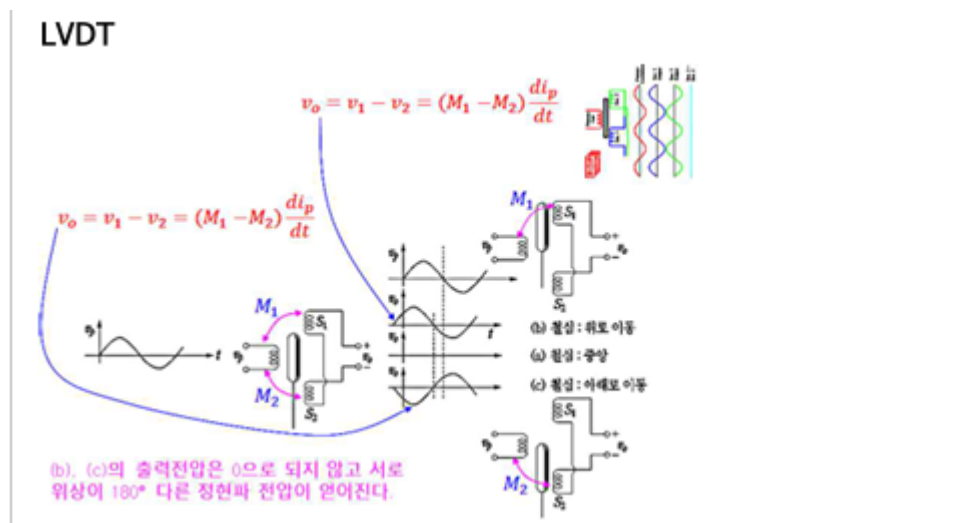
$$v_0 = v_1 - v_2 = (M_1 - M_2) \times dip/dt$$

- 철심이 이동할수록 M_1 이 커지고 M_2 가 작아지므로, 출력 전압은 양의 값으로 커집니다.
철심이 아래로 이동하는 경우:

- $M_1 < M_2$ 일 때, 즉 철심이 **Sec.2** 쪽으로 이동하면, $v_2 > v_1$ 이 되어 출력 전압 v_o 는 음의 값을 가지게 됩니다.
- 출력 전압은 다음과 같습니다:

$$v_o = v_1 - v_2 = (M_1 - M_2) \times \frac{di_p}{dt}$$

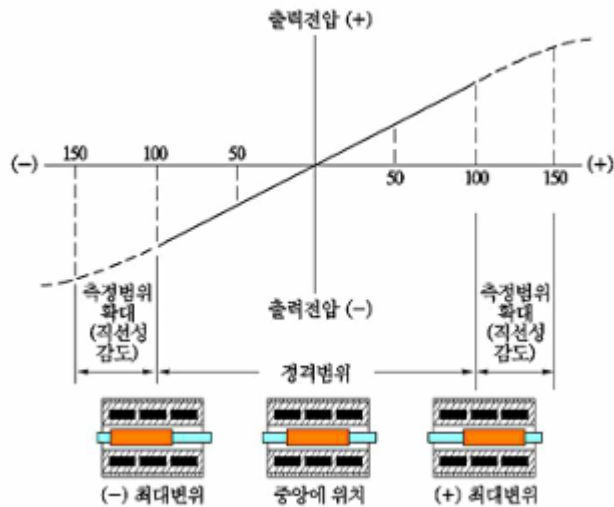
- 철심이 아래로 이동할수록 M_2 가 커지고 M_1 이 작아지므로, 출력 전압은 음의 값으로 변하게 됩니다.



10. 출력 전압의 특성

- LVDT 출력 전압의 진폭은 철심의 위치에 따라 **선형적으로 변화**합니다.
- 철심이 **중앙에 위치**하면, $M_1 = M_2$ 가 되어 출력 전압은 0이 됩니다.
- 철심이 **위로** 또는 **아래로** 이동할 때, 각각의 이동 방향에 따라 **출력 전압**은 선형적으로 변하며, 이를 통해 철심의 위치를 매우 정확하게 측정할 수 있습니다.

11. LVDT 출력 특성 곡선



- 그림에서 보이는 **출력 특성 곡선**은 철심의 위치에 따라 **출력 전압이 선형적으로 변화**함을 나타냅니다.
- 출력 전압이 철심의 변위에 **비례**하며, 이러한 선형성 덕분에 LVDT는 고정밀 변위 측정 장치로 널리 사용됩니다.
 - 철심이 중앙에 있을 때는 출력 전압이 0이 되고, 이동할수록 출력 전압이 증가(위로 이동 시 양의 값, 아래로 이동 시 음의 값)합니다.

12. LVDT 특성

- **최대 분해능:**
 - LVDT는 매우 정밀한 변위 측정이 가능합니다.
 - 측정 가능한 범위는 ****수 마이크로미터(μm)****부터 ****수백 밀리미터(mm)****까지로, 매우 미세한 변위에서 큰 변위까지 측정할 수 있습니다.
- **주파수 특성:**
 - 1차 코일에 교류 전압을 인가할 때, 보통 **1~5kHz**의 고주파수를 사용합니다.
 - 100mm 이상의 큰 변위를 측정하는 경우에는 더 높은 상용 주파수를 사용하는 것이 일반적입니다.
 - 이러한 주파수 특성 덕분에 매우 빠르고 정확한 변위 측정이 가능합니다.
- **출력 신호의 위상 변화:**
 - LVDT의 출력 신호는 ****철심의 중립 위치(중앙)****를 기준으로 **위상이 180도** 변합니다.

- 철심이 중립 위치에서 벗어나는 경우 출력 파형의 위상이 반전되며, 이를 통해 **철심이 위쪽 또는 아래쪽으로** 얼마나 이동했는지를 정확히 판단할 수 있습니다.

- **정확한 위치 판별:**

- 그림에서 보이는 것처럼, 철심이 **중립 위치**에 있을 때는 출력 전압이 0이고, 철심이 위로 또는 아래로 이동하면 출력 전압이 선형적으로 증가하거나 감소합니다.
- 이 선형적인 특성 덕분에 매우 정밀한 위치 판별이 가능합니다.

13. 싱크로 (Synchro)

- **구조 및 작동 원리:**

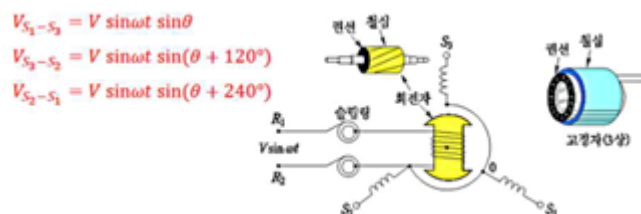
- 싱크로는 **아날로그형 회전각도**를 측정하는 센서입니다.
- ***아버 코일(rotor)***과 ***고정자 코일(stator)***로 구성되어 있습니다.
- 아버 코일은 회전 운동을 감지하며, 고정자 코일은 회전각도에 따라 전기 신호를 출력합니다.

- **회전각도 측정:**

- 고정자 코일에는 3개의 2차 코일이 있으며, 각각 120도 간격으로 배치되어 있습니다.
- 회전각에 따라 전압이 변하며, 이를 통해 각도를 측정할 수 있습니다.

- **용도:**

- 싱크로는 주로 **각도 변환 및 회전 위치 측정**에 사용됩니다.
- 항공, 군사 장비, 또는 기계 시스템에서 **정확한 회전 위치 제어**를 위한 센서로 활용됩니다.



- **회전자와 고정자 간의 전압 생성:**

- 싱크로 시스템에서, ***회전자(rotor)***의 회전 위치에 따라 ***고정자 코일(stator coils)***에 유기되는 전압의 크기와 위상이 변화합니다.
- 고정자 코일에 유기되는 전압은 **1차 전압**과 회전자 각도에 따라 달라지며, 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있습니다:

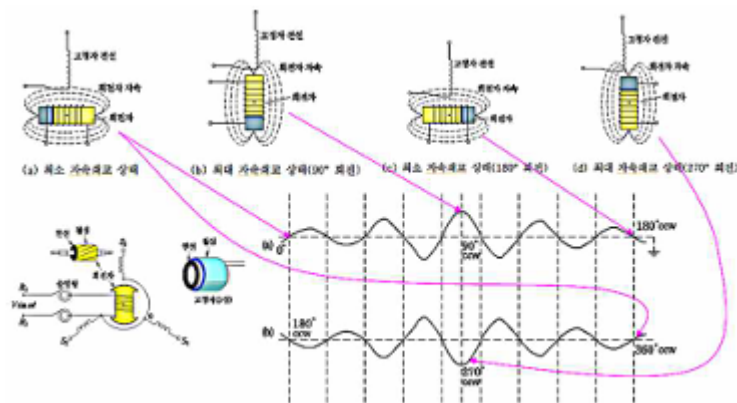
$$V_{S1-S3} = V \sin(\theta)$$

$$V_{S2-S1} = V \sin(\theta + 120^\circ)$$

$$V_{S3-S2} = V \sin(\theta + 240^\circ)$$

- 여기서, θ 는 회전자의 각도이며, 이 각도에 따라 고정자 코일 간의 전압 차가 변화하게 됩니다.

θ \theta



• 유도 전압의 변화:

- 그림에서 보이는 것처럼, 회전자 위치가 변하면 고정자 코일에 유기되는 전압이 달라집니다.
- 각 고정자 권선에 유기되는 전압은 회전자 위치에 따라 달라지며, 이로 인해 **각도 정보**를 전기 신호로 변환할 수 있습니다.

14. 싱크로 종류

• 싱크로 시스템 구성:

- 싱크로 시스템은 최소 ****싱크로 발신기(transmitter)****와 ****싱크로 수신기(receiver)****로 구성됩니다.
- 발신기 측에서 회전 각도에 따라 생성된 전압 신호가 수신기 측으로 전달되어, 수신기의 회전자도 동일한 각도로 회전하게 됩니다.
- 이를 통해, 회전자의 위치 정보를 먼 거리에서 정확하게 전달할 수 있습니다.

• 싱크로의 기능:

- 두 개 이상의 싱크로를 결합하여 **비율**이나 **위치 제어** 기능을 수행할 수 있습니다.

- 예를 들어, 한 쪽에서 발생한 회전 정보를 다른 장치로 **정확하게 전송**하여 동기화된 동작을 가능하게 합니다.

- **토크 싱크로(Torque Synchro):**

- **토크 싱크로**는 수신기 측에서 회전축에 **토크**를 발생시키는 역할을 합니다.
- 수신기의 회전자가 회전하면서 **각도 정보를 물리적 힘으로 변환**해, 각도 변위를 직접적으로 전달하는 데 사용됩니다.

15. 제어 싱크로 (Control Synchro)

- **기능:**

- **제어 싱크로**는 수신기 간의 각도 차이에 따라 전압을 발생시키며, 이를 통해 ****서보 기구(Servomechanism)****에 사용됩니다.
- 각도 전송의 정확도는 매우 높으며, 전송 각도의 정밀도는 **$\pm 5 \sim 15$ 분** 정도로 매우 미세한 각도 차이까지 정확하게 전달 가능합니다.

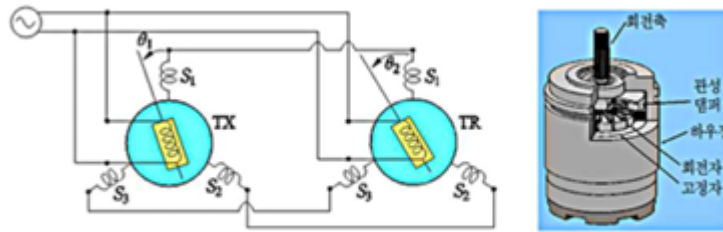
16. 토크 싱크로(Torque Synchro)에서의 각도 전송 (검출)

- **구성 요소:**

- *토크 발신기(Torque Transmitter; TX)**와 **토크 수신기(Torque Receiver; TR)**로 구성됩니다.
- 발신기에서 회전축의 기계적인 각도 변위를 **전기 신호로 변환**하여 수신기에 전송하고, 수신기에서 다시 이 신호를 받아 **기계적인 각도 변위**로 변환합니다.

- **동작 원리:**

- 발신기의 회전자가 각도 θ_r 만큼 회전하면, **S1, S2, S3** 고정자 권선에 유기되는 전압은 앞서 설명한 원리에 따라 결정됩니다.
- 수신기의 **회전자**가 발신기와 동일한 각도 θ_r 에 도달하면, 수신기의 출력 전압은 0이 됩니다.
- 하지만 발신기와 수신기 사이에 **각도 차이**가 있을 경우, **전압 차이**가 발생하며, 이 전압 차이에 의해 **수신기의 회전자**가 발신기의 각도에 맞춰 회전하게 됩니다.
- 최종적으로 수신기의 회전자가 발신기의 회전 각도에 일치하면 전압 차이가 없어지고, 이 상태에서 각도 전송이 완료됩니다.



17. 토크 싱크로의 특성

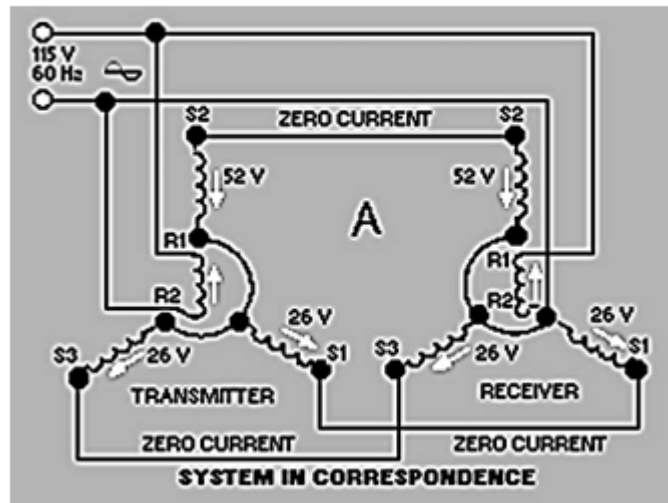
- 토크 싱크로는 회전자의 각도를 매우 정밀하게 전송하는 시스템입니다.
 - 발신기와 수신기 사이의 각도 차이에 따라 전압 차이가 발생하고, 이를 이용해 수신기가 발신기의 각도에 맞춰 회전합니다.
 - 이때 **기계적인 회전 정보를 전기적인 신호**로 변환하여 전달하고 다시 기계적인 회전으로 변환하는 과정을 거치기 때문에, 매우 정밀한 각도 전송이 가능합니다.

18. 싱크로의 응용

- 싱크로는 주로 **각도 측정 및 전송 시스템**에서 사용됩니다.
 - 특히 항공기, 군사 장비, 선박 시스템 등에서 **정확한 회전 위치 측정 및 동기화된 회전 제어**를 위해 사용됩니다.
 - 토크 싱크로는 **회전력(토크)**을 발생시키면서 회전 위치를 제어하는 데 중요한 역할을 하며, **제어 싱크로**는 서보 메커니즘을 통해 위치와 각도를 매우 정밀하게 제어할 수 있습니다.

19. 싱크로 각도 전송 예 1 (A) - 일치 상태 (System in Correspondence)

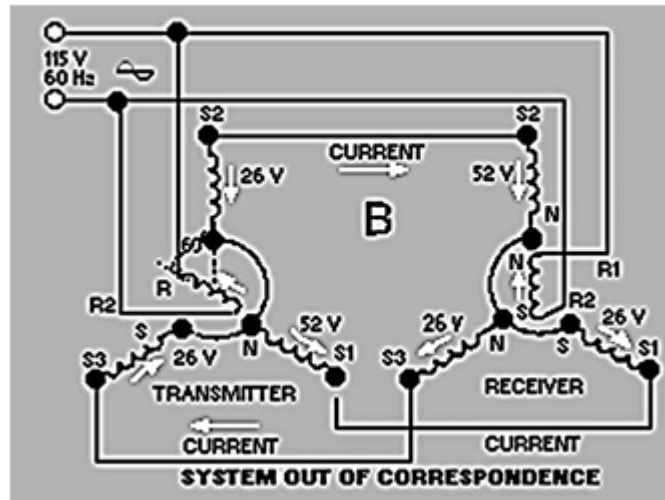
싱크로 각도 전송 예



- **일치 상태**에서는 발신기(Transmitter)와 수신기(Receiver)의 회전자 위치가 동일합니다.
- 이 상태에서는 각 고정자 권선(S1, S2, S3) 사이의 전압 차이가 없거나 미세하게 발생합니다.
- 결과적으로, 전류가 흐르지 않습니다 (Zero Current).
 - 발신기와 수신기의 회전자 위치가 동일하므로, 두 시스템 간의 각도 차이가 없어 전류가 흐르지 않습니다.
 - 이러한 상태에서는 전압도 안정적으로 유지되며, 두 시스템은 **동일한 각도**를 공유하고 있습니다.
- 이 상태를 *****"System in Correspondence"*****라고 부르며, 시스템 간의 각도가 완벽하게 동기화된 상태입니다.

20. 싱크로 각도 전송 예 2 (B) - 불일치 상태 (System out of Correspondence)

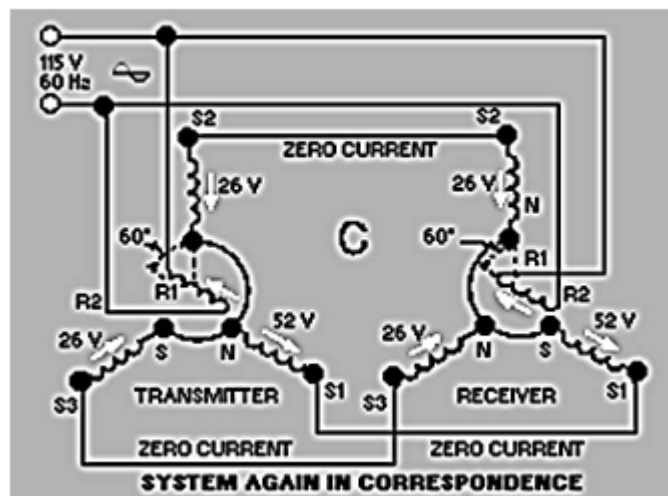
싱크로 각도 전송 예2



- 불일치 상태에서는 발신기와 수신기의 회전자 위치에 차이가 존재합니다.
- 이로 인해 고정자 권선(S1, S2, S3) 사이에서 전압 차이가 발생하며, 이 전압 차이에 의해 전류가 흐릅니다 (Current).
 - 발신기와 수신기의 회전자 위치가 일치하지 않기 때문에, 각도 차이에 의해 전류가 발생합니다.
 - 이 전류는 수신기의 회전자를 발신기의 회전자 각도에 맞추도록 작동하게 합니다.
- 이 상태에서는 "System out of Correspondence", 즉 시스템 간의 각도가 불일치 상태에 있으며, 전류 흐름을 통해 수신기가 발신기와 일치하도록 조정됩니다.

21. 싱크로 각도 전송 예 3 (C) - 일치 상태 (System Again in Correspondence)

싱크로 각도 전송 예3



- 일치 상태:

- **C 그림은 A 예시**와 유사하게 발신기(Transmitter)와 수신기(Receiver)의 회전자 각도가 동일한 경우를 나타냅니다.
- 각 고정자 권선(S1, S2, S3) 사이에서 **전류가 흐르지 않음**(Zero Current) 상태입니다.
- 발신기와 수신기의 각도가 일치하여 전류가 흐르지 않고, 시스템 간에 **완벽한 동기화**가 이루어진 상태입니다.
- 이 상태는 **"System Again in Correspondence"**, 즉 다시 일치된 상태를 의미합니다.

22. 싱크로의 주요 특성

- 전압 전송 방식:

- 싱크로는 **전압 전송 방식**을 통해 각도 정보를 전달하며, 매우 우수한 **잡음 특성**을 가지고 있습니다. 이는 외부 간섭에 강해 신호 전송의 정확성을 높입니다.

- 정밀도:

- 싱크로의 각도 전송 정밀도는 **1도에서 2도** 정도로 매우 높은 수준입니다.
- 이러한 정밀도 덕분에 항공기, 군사 장비, 산업용 자동화 시스템 등에서 널리 사용됩니다.

23. 크기가 다른 두 상용 싱크로의 특성 비교

표 크기가 다른 두 상용 싱크로의 일부 특성.

표 7.4 두 상용 싱크로의 특성

파라미터	26V09CN4c Control Transmitter	CGH11B2 Torque Transmitter
주파수	400[Hz]	400[Hz]
입력 전압 (회전자)	26[V]	26[V]
최대 입력 전류	153[mA]	170[mA]
정격 입력 전력	0.7[W]	0.58[W]
입력 임피던스(출력 개방시)	192[Ω], 79°	(20+j150)[Ω]
출력 임피던스(입력 개방시)	39.3[Ω], 70.5°	(4.3+j24.8)[Ω]
DC 직류 저항 (회전자)	-	10.5[Ω]
DC 직류 저항 (고정자)	-	3.6[Ω]
출력 전압	11.8[V]	11.8[V]
감도	206[mV/°]	206[mV/°]
최대 출력(0 위치에서)	30[mV]	30[mV]
최대 오차	7'	12'
회전자의 관성 모멘트	82[μg·m²]	330[μg·m²]

표에서는 두 가지 상용 싱크로의 특성을 비교하고 있습니다. 각 특성에 대해 분석해보겠습니다:

- **모델:**
 - 두 싱크로는 **26VCSX6**(Control Transmitter)와 **CGH1182**(Torque Transmitter)로, 각각 제어용과 토크 전송용 싱크로입니다.
- **정격 입력 전압:**
 - 두 모델 모두 **26V** 또는 **20V**의 전압을 사용합니다.
- **정격 출력:**
 - 제어용 싱크로의 출력은 약 **153mA**이고, 토크 싱크로의 출력은 **170mA**입니다.
- **전압 변동량:**
 - 제어용 싱크로는 약 **0.171W**의 전력 소비량을 가지며, 토크 싱크로는 **0.44W**로 더 높은 출력을 제공합니다.
- **DC 저항:**
 - 두 모델의 DC 저항값은 제어용에서 **208옴** 정도이고, 토크 싱크로는 **127옴**입니다. 이는 두 모델이 서로 다른 특성을 가지고 있음을 의미합니다.
- **크기 및 무게:**
 - 두 싱크로의 무게 차이가 크며, 제어용 싱크로는 **82g**, 토크 싱크로는 **330g**으로 더 무겁습니다.

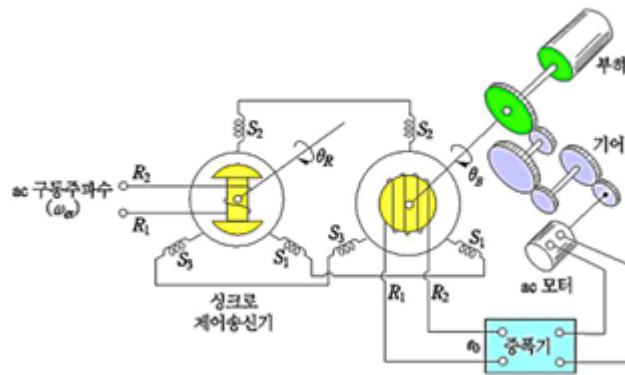
24. 제어 싱크로 (Control Synchro)

- **제어 트랜스포머(Control Transformer; CT):**
 - 제어 싱크로 시스템에서 **제어 트랜스포머**는 회전자의 각도를 감지하는 장치입니다.
 - *제어 송신기(Control Transmitter)**와 **제어 트랜스포머**의 회전자 각도가 동일할 때, **영위 검출기(null detector)**의 출력이 0이 됩니다. 즉, 두 장치가 동일한 각도일 때 전류가 흐르지 않으며, 동기화 상태를 유지합니다.
- **전압 출력 원리:**
 - 두 회전자의 상대각도 ($\theta_T - \theta_r$)가 있을 경우, 그 차이의 **사인 함수(sin)** 값에 비례하여 출력 전압이 발생합니다.
 - 출력 전압은 각도 차이에 따라 변하며, 각도 차가 클수록 출력 전압이 증가합니다.

- 예를 들어, 각도 차이가 20도 정도로 작을 때는 출력 전압이 각도에 비례한다고 가정할 수 있으며, 이때 출력 전압은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있습니다:

$$e_0 = K_1(\theta_T - \theta_r) \sin \omega t$$

- 여기서 K_1 은 상수로, 시스템의 특성에 따라 다르며, ω 는 교류 신호의 각속도를 나타냅니다.



25. 리졸버 (Resolver)

• 리졸버의 정의:

- 리졸버는 **싱크로와 유사한 원리로** 작동하는 각도 변환 센서입니다.
- 전자유도 현상을 이용해 **기계적인 각도 변위를 전기 신호로 변환**하는 장치로, **아날로그 각도 측정**에 주로 사용됩니다.

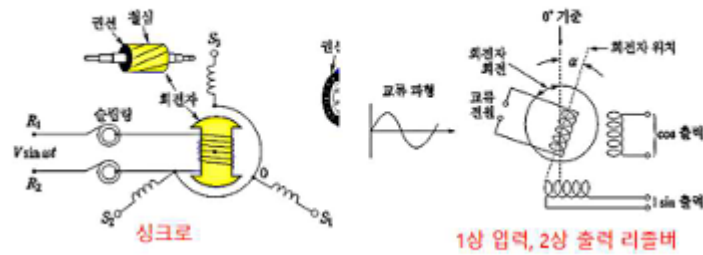
• 리졸버와 싱크로의 차이점:

- **리졸버**는 고정자와 회전자의 권선이 **90도 각도로 배치**되어 있으며, 두 권선 간의 상호작용을 통해 각도 정보를 전송합니다.
- **싱크로**는 보통 3개의 고정자 권선을 사용하지만, 리졸버는 **2개의 권선**(단상 또는 4선식)을 사용하여 각도를 나타내는 방식이 다릅니다.

• 단독으로 사용 가능:

- 리졸버는 자체적으로 각도 정보를 처리하여 출력할 수 있으며, **단독으로 각도 측정**에 사용될 수 있습니다.
- 이는 리졸버가 간단한 구조로도 고정자와 회전자의 상대적인 각도를 정확히 측정할 수 있음을 의미합니다.

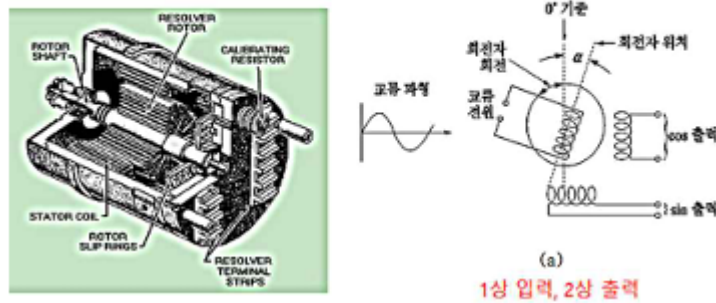
리졸버



• 기본 구조:

- 리졸버는 **표준적인 모터와 유사한 구조**를 가지고 있습니다.
- 리졸버에는 여러 가지 ****권선 비율(Ratio)****이 있으며, 다양한 용도로 설계될 수 있습니다.

리졸버 구조



• 1차 입력, 2차 출력 리졸버:

- 그림에서 나타난 것처럼, 리졸버는 **1차 입력 권선과 2차 출력 권선**을 통해 동작합니다.
- **두 고정자 코일**은 서로 **90도의 기계적 각도**로 배치되어 있으며, 이러한 배치는 전기 신호가 고정자와 회전자 간의 상호작용을 통해 정확한 각도 측정을 가능하게 합니다.
- 회전자 코일은 1차 권선으로 작용하고, 고정자에 있는 두 개의 코일은 각각 2차 권선으로 작용합니다.

26. 리졸버의 동작 원리

• 회전자의 교류 전압 인가:

- 회전자에 교류 전압을 인가하게 되면, 회전자의 위치에 따라 고정자 코일에서 유가된 전압이 변하게 됩니다.

- 이때, 고정자의 두 권선은 90도의 각도로 배치되어 있기 때문에, 각도에 따라 서로 다른 전압이 발생합니다.

- **전압 출력 공식:**

- 리졸버의 고정자 권선에서 발생하는 전압은 회전자 각도 θ 에 따라 변화하며, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있습니다:

- $e_{S_1-S_3} = V_m \sin\theta \sin\omega t$

- $e_{S_4-S_2} = V_m \sin(\theta + 90^\circ) \sin\omega t = V_m \cos\theta \sin\omega t$

- 여기서:

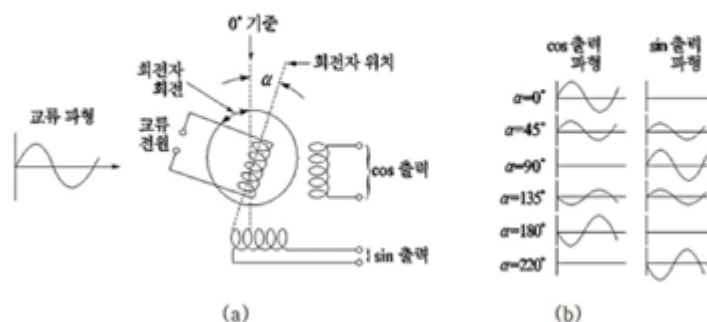
- e_{S_1}, e_{S_2} 는 각각 두 고정자 권선에서 발생하는 전압입니다.
- θ 는 회전자의 각도를 나타내며, 각도에 따라 고정자에서 발생하는 전압이 달라 집니다.
- V_m 은 최대 전압, ωt 는 교류의 주파수 성분을 나타냅니다.

27. 리졸버의 주요 특성

- 리졸버는 기계적인 각도 변위를 전기 신호로 변환하여 측정할 수 있으며, 이는 1차 권선과 2차 권선 간의 상호작용을 통해 이루어집니다.
- 90도 각도로 배치된 고정자 코일을 통해 정확한 각도 측정이 가능하며, 각도 정보는 두 고정자 권선에서 발생하는 전압 차이를 분석하여 얻을 수 있습니다.

28. 회전자 코일이 $\theta = 0^\circ$ 위치에 있을 때

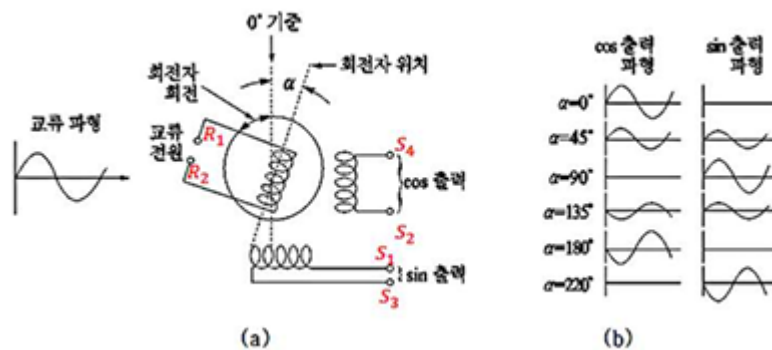
리졸버 구조



- **sin 코일과 cos 코일의 역할:**

- 리졸버에서 **회전자 코일이 sin 코일과 수직하게 놓이고, cos 코일과는 평행하게 놓**입니다.
- 이 경우, **cos 코일에는 최대 전압이** 유기되고, **sin 코일에는 전압이 0**이 유기됩니다.
- 즉, cos 코일은 이때 최대값을 가지며, sin 코일에는 전류가 흐르지 않습니다.
- **전압 발생 원리:**
 - cos 코일에서 발생하는 전압은 최대값을 가지며, sin 코일에서의 전압은 0이 됩니다. 이를 통해 회전자 코일이 $\theta = 0^\circ$ 에 위치해 있음을 알 수 있습니다.

29. 회전자 코일이 $\theta = 45^\circ$ 위치에 있을 때



- **sin 코일과 cos 코일에 유기되는 전압:**
 - 회전자 코일이 $\theta = 45^\circ$ 위치에 있으면, **sin 코일과 cos 코일에** 유기되는 전압은 서로 동일한 전압이 발생합니다.
 - 이때, 두 코일에 발생하는 전압은 크기는 동일하나, 그 파형은 **위상이 90도** 차이나는 형태로 유기됩니다.
- **전압을 통한 각도 측정:**
 - sin 코일과 cos 코일에 유기되는 전압의 파형을 측정하면, 회전축의 각도를 정확히 알 수 있습니다.
 - 두 코일의 전압 차이가 발생하는 경우 이를 통해 회전자 위치를 특정할 수 있습니다.

30. 리졸버 분해능

- **분해능(Resolution):**

- 리졸버의 분해능은 매우 정밀하며, **1회전에 1/3500 정도**의 분해능을 가집니다. 이는 각도 측정에서 매우 작은 변화를 감지할 수 있음을 의미합니다.
- 이 정도의 분해능은 매우 정밀한 **위치 제어** 및 **각도 측정**이 필요한 시스템에서 필수적인 특성입니다.
- **이상기**로도 리졸버는 사용 가능하여, 정밀한 각도 정보가 필요한 환경에서도 신뢰할 수 있는 장비로 평가됩니다.

31. 리졸버 특성

표 7.5 두 상용 리졸버의 특성

파라미터	11R2N4r 100 Data Transmission	HZC-8-A-1/A008 Computing resolver
주파수	10[kHz]	400[Hz]
입력 전압(회전자)	40[V]	15[V]
최대 입력 전류	14[mA]	22[mA]
정격 입력 전류	0.173[W]	0.11[W]

리졸버 특성

입력 임피던스(출력 개방시)	3900[Ω], 65°	(230+j640)[Ω]
출력 임피던스(입력 개방시)	892[Ω], 65°	(176+j806)[Ω]
DC 직류 저항(회전자)	—	220[Ω]
DC 직류 저항(고정자)	—	158[Ω]
출력 전압	18.5[V]	15.0[V]
감도	323[mV/°]	—
최대 출력(0 위치에서)	78[mV]	1[mV/V]
최대 오차	5'	0.01[%]
회전자의 관성 모멘트	200[μg·m²]	—

표에 나타난 리졸버의 다양한 특성에 대해 설명하겠습니다.

• 입력 전압 및 출력 전압:

- 두 리졸버의 입력 전압은 각각 **40V**와 **115V**로, 출력 전압은 **14mA**와 **22mA**입니다.
- 출력 전압은 리졸버의 회전 각도에 비례하여 발생하며, 고정자와 회전자 간의 상호 작용을 통해 정밀하게 제어됩니다.

• DC 저항:

- DC 저항 값은 각각 **138Ω**과 **158Ω**으로 나타나며, 이 값은 리졸버의 전기적 특성을 나타내는 중요한 요소입니다.

• 정밀도:

- **정밀도**는 각각 **0.61mV/deg**와 **0.39mV/deg**로, 각도 변위에 따른 전압 변화량을 의미합니다. 이는 리졸버의 각도 측정 정확도를 나타내는 수치입니다.

32. 리졸버의 장점

리졸버의 특성 중 주요 장점을 살펴보겠습니다.

- **내환경성:**
 - 리졸버는 **충격** 및 **진동** 등에도 매우 강한 내구성을 가지고 있어 **장기간 신뢰성**을 유지할 수 있습니다. 이 때문에 산업용으로도 매우 적합합니다.
- **사용 온도 범위:**
 - 리졸버는 넓은 온도 범위에서도 정상적으로 작동할 수 있습니다. 이는 다양한 환경에서 사용할 수 있음을 의미합니다.
- **절대각도 측정:**
 - 리졸버는 **절대각도**를 측정할 수 있어, 외부 요인에 의한 오차나 초기화가 필요하지 않은 신뢰성 높은 측정이 가능합니다.
- **고정밀도:**
 - 리졸버는 매우 높은 **정밀도**를 제공하며, 이를 통해 **정확한 위치 제어**가 가능합니다.
- **소형화 가능성:**
 - 리졸버는 **소형화**가 가능하여, 공간 제약이 있는 환경에서도 적용할 수 있습니다.

33. 리졸버의 단점

1. 디지털 회로와의 인터페이스 어려움:

- 리졸버는 **아날로그 방식**으로 각도 정보를 전송하기 때문에, **디지털 회로와 직접 인터페이스**할 수 없습니다.
- 디지털 시스템과 통합하려면 별도의 **신호 변환 장치**나 **인터페이스 회로**가 필요하여 복잡성이 증가합니다.

2. 신호처리 회로의 복잡성:

- 리졸버에서 발생하는 아날로그 신호를 처리하기 위해서는 **복잡한 신호처리 회로**가 필요합니다.
- 특히, 각도 정보를 정확하게 디지털로 변환하거나 다른 제어 시스템과 연동하려면 추가적인 전자 회로가 필요하며, 이는 시스템의 **설계 복잡성**을 증가시킵니다.

3. 고가의 장비:

- 리졸버는 **로터리 인코더**와 같은 다른 각도 측정 장비에 비해 **비용이 높습니다**.
- 고정밀도와 내구성을 요구하는 환경에서는 필수적인 장비일 수 있지만, 비용적인 측면에서는 **경제성이 떨어지는 단점**이 있습니다.