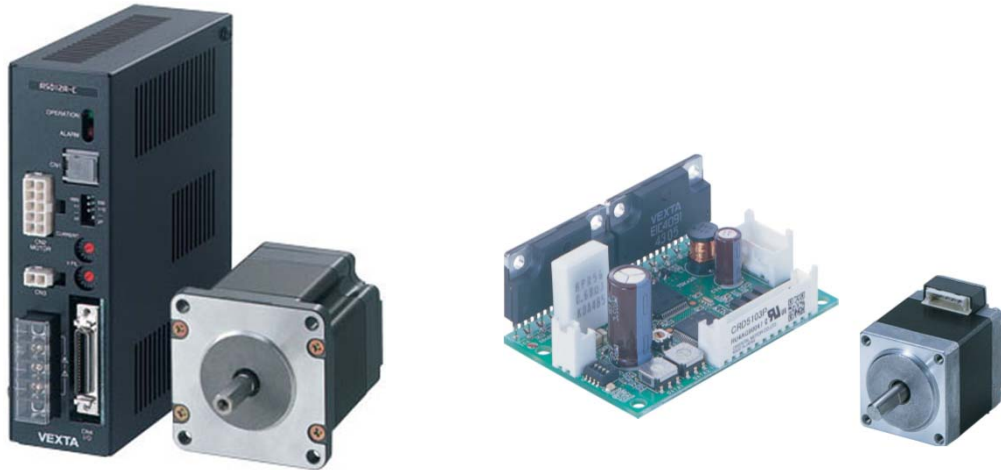


Stepping Motor

Stepping Motor의 특징



STEPPING MOTOR는 1920년 영국에서 개발된 고정밀도의 위치결정이 가능한 MOTOR로서 컴퓨터, 공장자동화, OA기기, 은행 단말기, 역무기계, 식품기계, 반도체 및 DISPLAY 제조장치 등 각종 분야에 빼놓을 수 없는 MOTOR가 되었습니다.

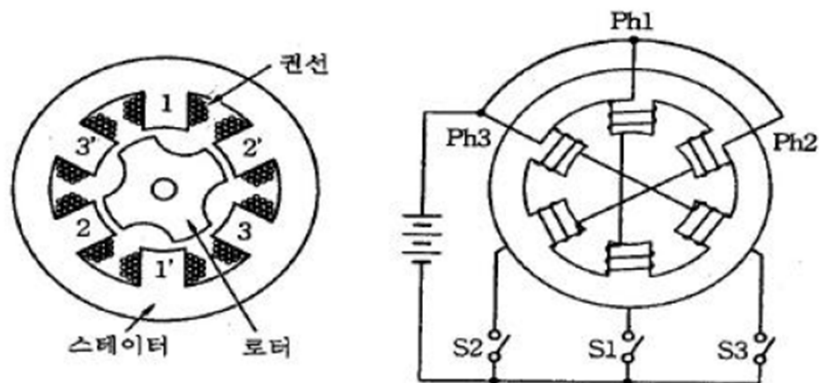
현재는 진동과 소음이 획기적으로 개선된 MICRO STEP 기술을 적용한 제품들이 출시되어 한층 더 발전하고 있습니다.

STEPPING MOTOR는 다음과 같은 특징이 있습니다.

- ▶ 고분해능
- ▶ 고정밀도
- ▶ 각도 및 속도제어의 용이성
- ▶ 자기유지력 (Holding Torque)
- ▶ OPEN LOOP System 구성

Stepping Motor의 종류

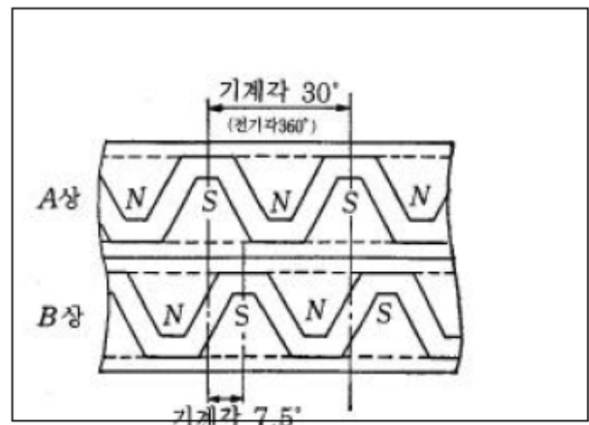
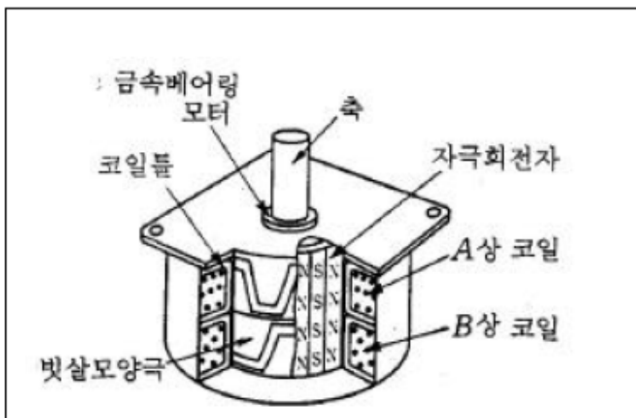
VR형 (Variable Reluctance Type)



- 연철 또는 성층강판으로 구성된 회전자(ROTOR)와 톱니바퀴형의 회전자와 고정자(STATOR) 권선에서 생성된 전자력에 끌려 회전하는 방식으로 구성됩니다.
- 유도전력에 의해 회전하기 때문에 무여자 상태일 때 HOLDING TORQUE는 0입니다.
- 회전자의 관성이 작아 고속응답성이 좋습니다.
- 일반적으로 15°의 STEP 각을 가집니다.

Stepping Motor의 종류

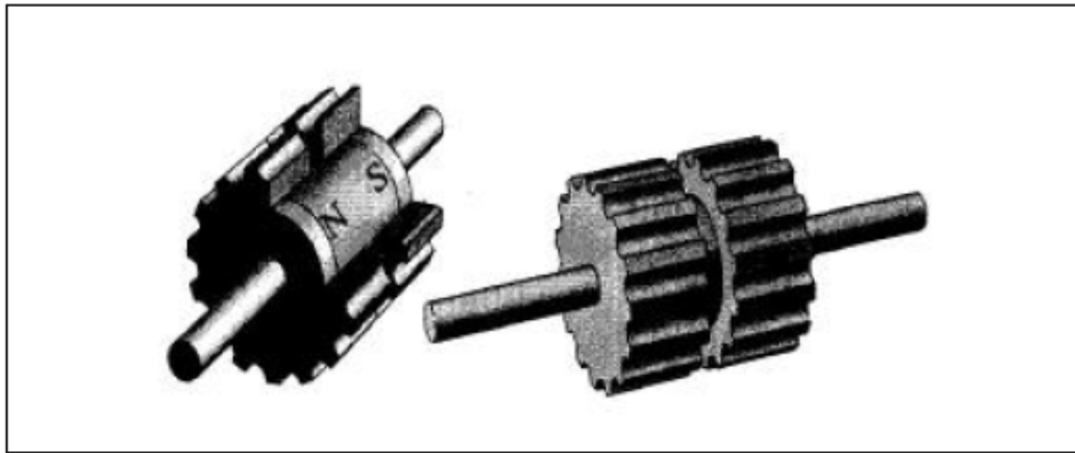
PM형 (Permanent Magnet Type)



- 영구자석으로 구성된 회전자가 고정자의 권선에서 발생하는 자기력에 이끌려 회전합니다.
- 전원을 OFF(무여자 시)해도 HOLDING TORQUE가 발생합니다.
- 영구자석의 종류에 따라 STEP각이 구분되며 알코니계 자석의 경우 90, 45° 이고, 페라이트계 자석을 사용한 제품은 18, 15, 11.25, 7.5°의 STEP각을 갖습니다.

Stepping Motor의 종류

하이브리드형 (HYBRID PM Type ; 가장 일반적인 형태)



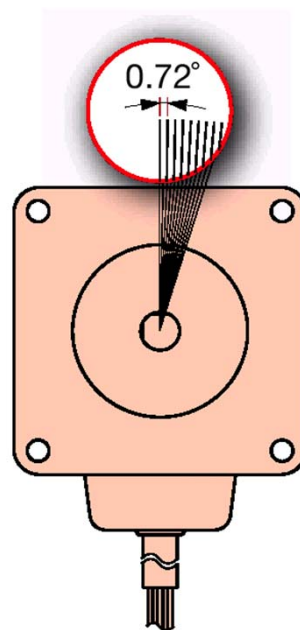
- PM형과 VR형을 복합한 타입으로서 주로 산업용 제품에 많이 사용 되는 방식입니다.
 - 고정밀도, 높은 토크, 고분해능의 제품에 많이 사용됩니다.
 - 위의 그림과 같이 회전자(회전자)가 구성되며, 대부분의 제품은 고정밀도의 HYBRID TYPE의 제품입니다.
- 자세한 단면도는 뒤에서 다시 설명합니다.

고분해능, 고정밀도

STEPPING MOTOR의 최대 특징은 고정밀도의 위치결정을 간단히 얻을 수 있다는 것입니다.

동작각도는 입력 PULSE에 동기하여 회전하며, 오차는 ± 3 분 (3arcmin = 0.05° ; 5상 STEPPING MOTOR, 무부하시, 2분 사양도 있음) 입니다.

PULSE 란?



일반적으로 많이 사용되는 STEPPIN MOTOR는 5상 및 2상이며 분해능은 다음과 같습니다.

5상 : $0.72^\circ / \text{step} = 500\text{step/rev}$

2상 : $1.8^\circ / \text{step} = 200\text{step/rev}$

Pulse수에 의한 각도제어

STEPPING MOTOR는 1PULSE 당 일정한 각도만큼 동작합니다.
그러므로 PULSE수를 제어하면 사용자가 원하는 만큼의 회전량을
동작시킬 수 있습니다.
회전량을 제어하는 방법은 다음과 같습니다.

$$\text{회전량}[^{\circ}] = \text{Step각}[^{\circ}/\text{step}] \times \text{pulse수}$$



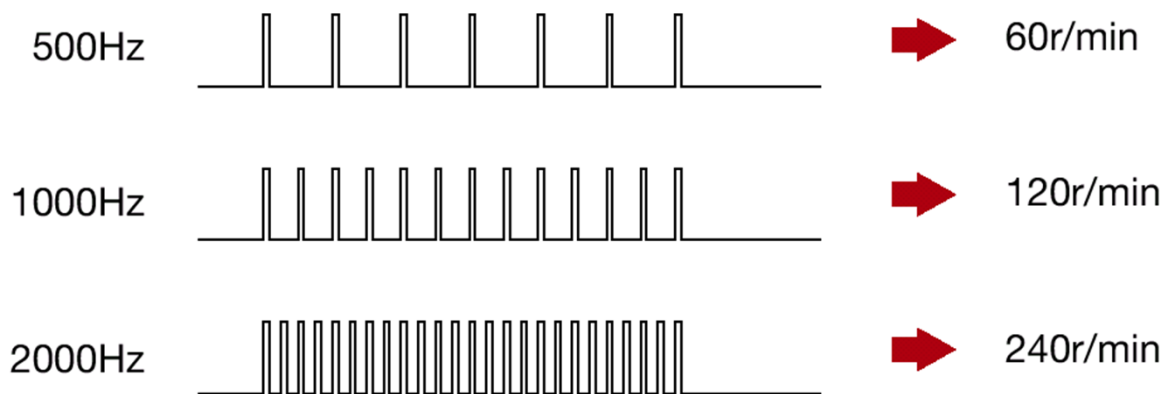
Pulse속도에 의한 회전속도 제어

PULSE 속도는 일반적으로 1초당 입력되는 PULSE수로 나타내며, 다음과 같이 표시합니다.

$$\text{PPS[Hz]} = \text{PULSE PER SECOND}$$

그러므로 초당 입력 PULSE수를 제어하면 STEPPING MOTOR의 속도를 결정할 수 있습니다.

$$\text{MOTOR 속도 [rpm]} = \frac{\text{STEP 각} [^\circ]}{360^\circ} \times \text{PULSE 속도 [Hz]} \times 60$$

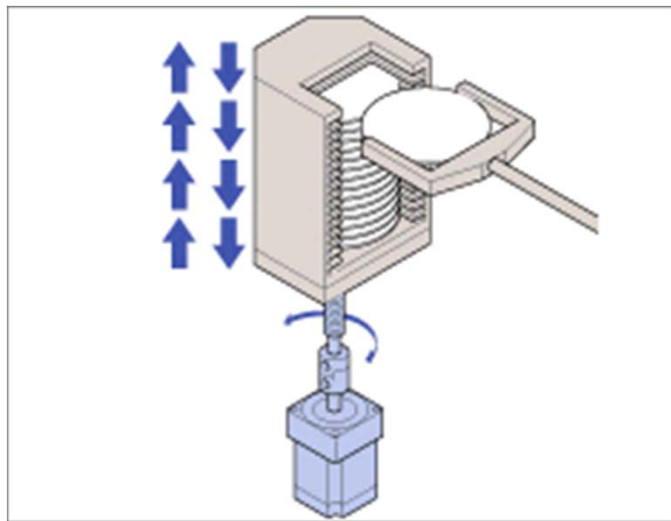


자기유지력(Holding Torque)

STEPPING MOTOR는 구조 및 제어원리상 자기유지력(HOLDING TORQUE)을 갖습니다.

MOTOR 및 DRIVER에 전원이 투입되어 있는 경우에는 자기 유지력을 가집니다.

하지만 전원이 투입되어 있지 않은 경우에는 유지력이 상실되므로 안전을 위해서 UP/DOWN 기구부에는 전자 브레이크 TYPE의 제품을 사용합니다.

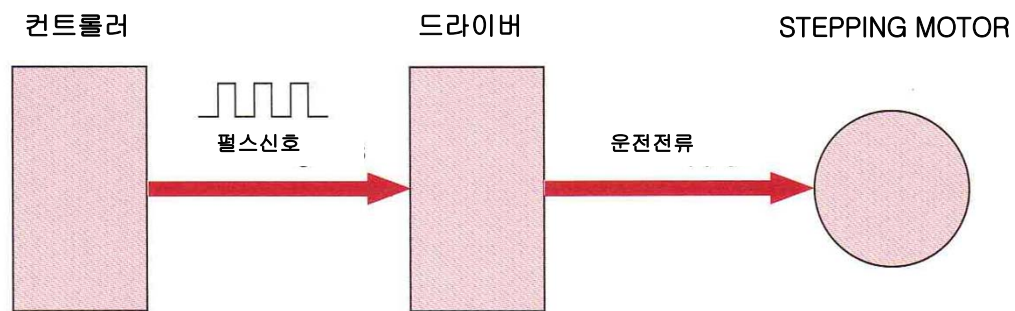


- ▶ 정지 시 큰 유지 Torque가 발생
- ▶ 기계적 브레이크 등의 유지기구 불필요

SYSTEM 구성

STEPPING MOTOR는 PULSE신호로 제어하며 MOTOR에 전원을 공급하는 DRIVER가 필요합니다.

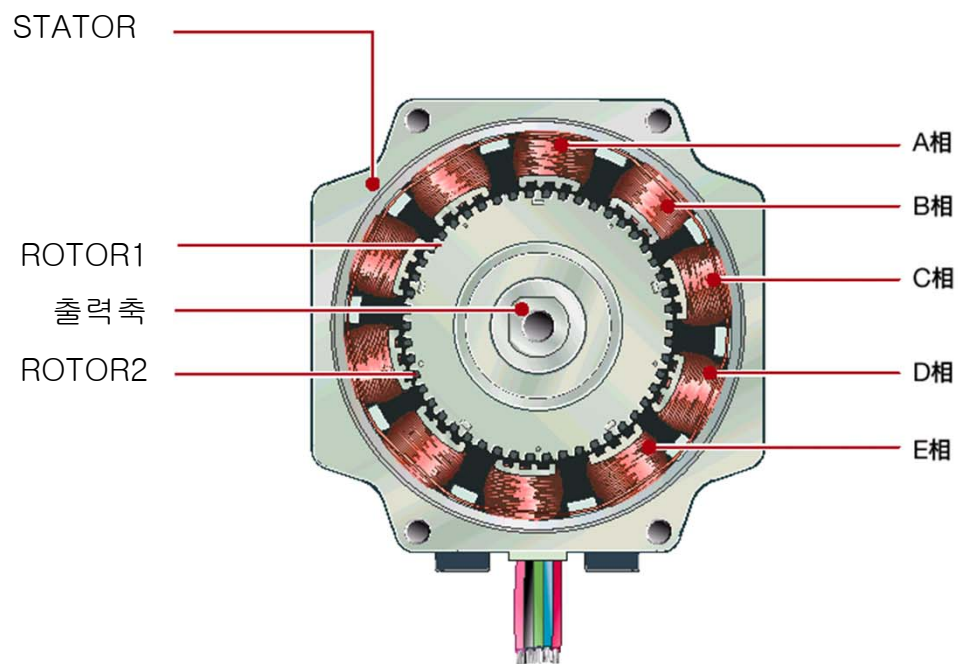
즉 SYSTEM 구성에는 다음의 3가지 제품이 기본적으로 필요합니다.



OPEN LOOP 제어는 다음과 같은 특징을 가집니다.

- MOTOR 및 DRIVER에서 FEED BACK되는 신호가 없습니다.
- GAIN TUNNING이 필요 없고 동기성이 우수합니다.

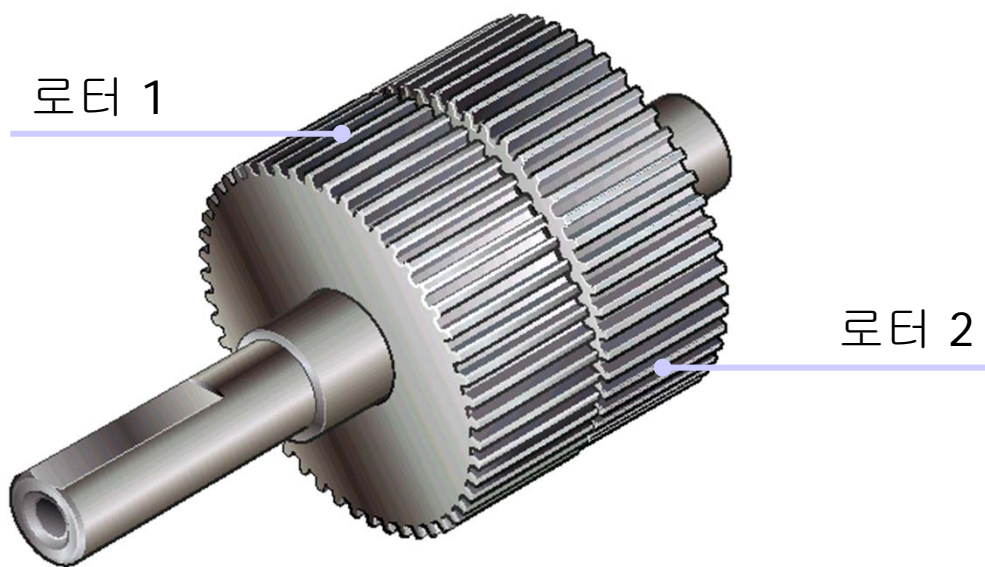
STEPPING MOTOR의 구조 (단면)



그림과 같이 소치(小齒)를 가진 ROTOR 및 STATOR로 구성되어 있습니다.

ROTOR 및 STATOR의 공극은 매우 미세한 간극으로 구성되어 있으며, ROTOR는 베어링에 의하여 지지되고 STATOR와 독립적으로 동작합니다. (둘 사이의 기계적인 마찰이 없습니다.)

STEPPING MOTOR의 구조 (회전자)



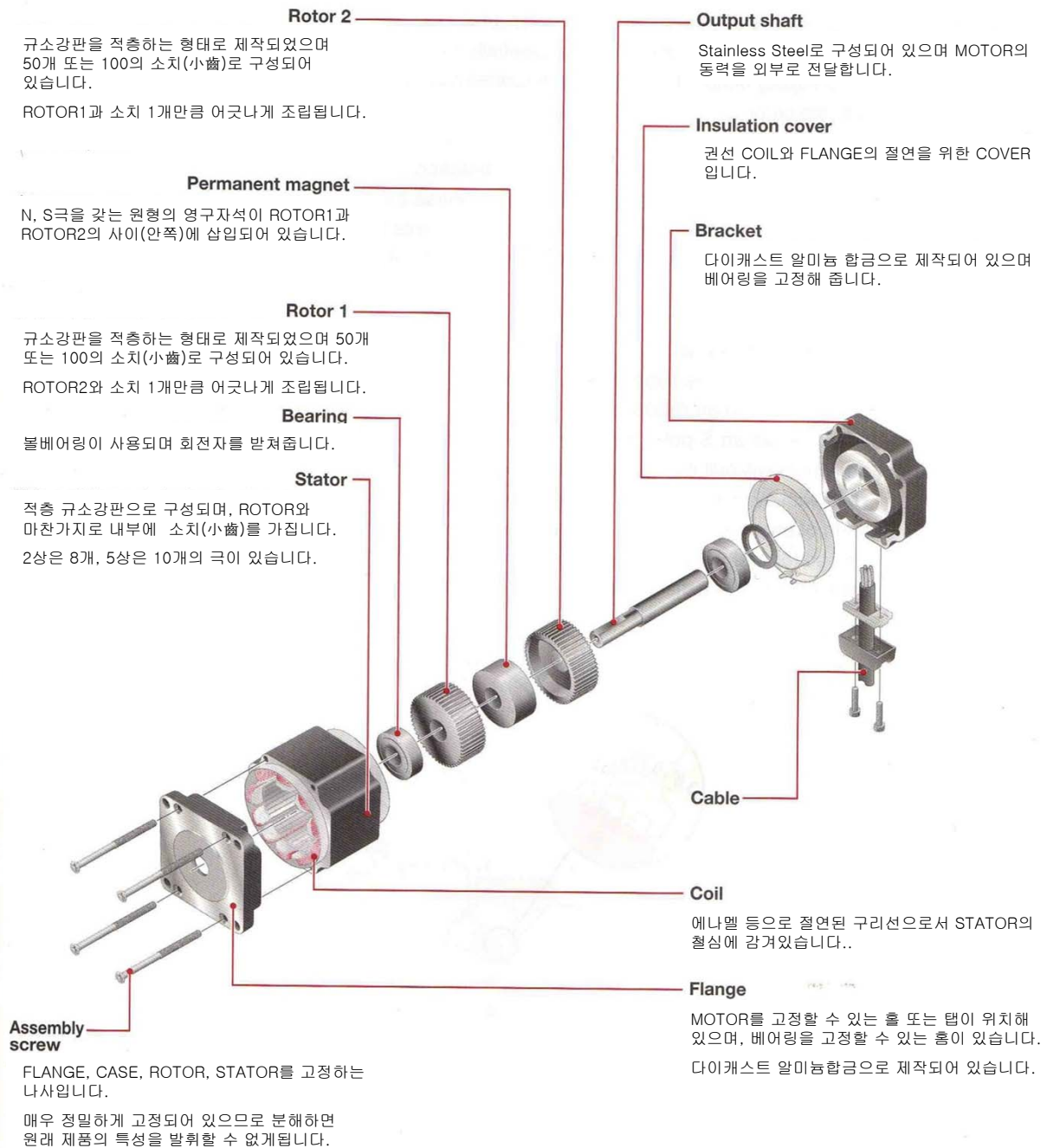
ROTOR는 그림과 같이 2개의 ROTOR 사이에 영구자석이 삽입된 구조입니다.

각 ROTOR는 50개 (또는 100개)의 소치(小齒)를 갖고 있으며 이들은 1 PITCH 만큼 어긋나게 조립되어 있습니다.

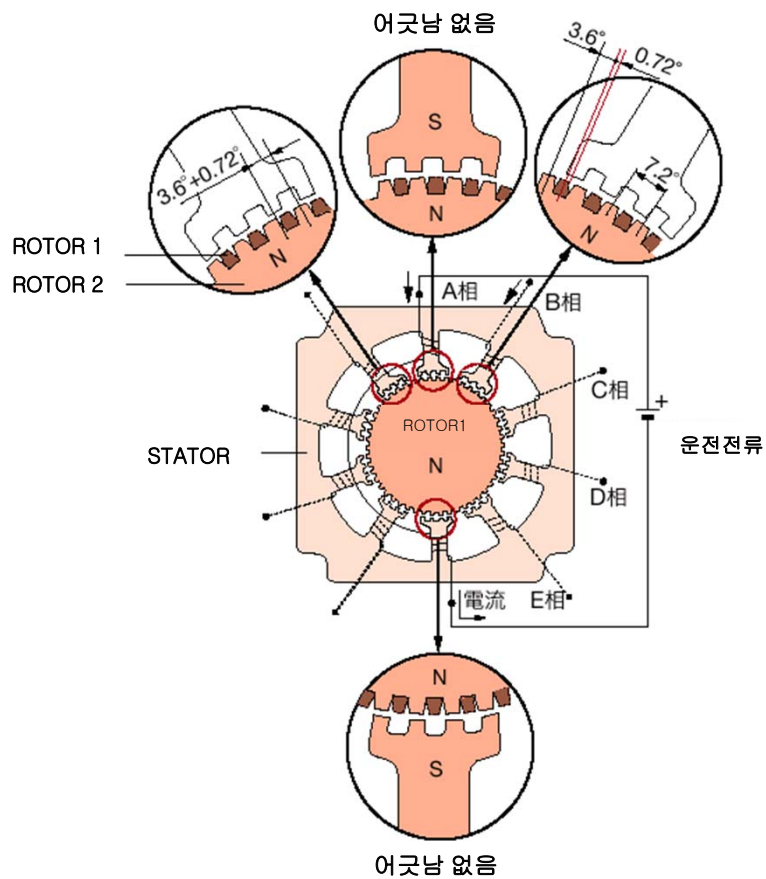
그러므로 앞면에서 보면 100개 (또는 200개)의 소치(小齒)를 갖고 있는 것처럼 사용하게 됩니다.

중간의 영구자석에 의하여 ROTOR1은 N극, ROTOR2는 S극으로 자화되어 있습니다.

STEPPING MOTOR의 구조(전체)



기본 동작원리 – A상 여자

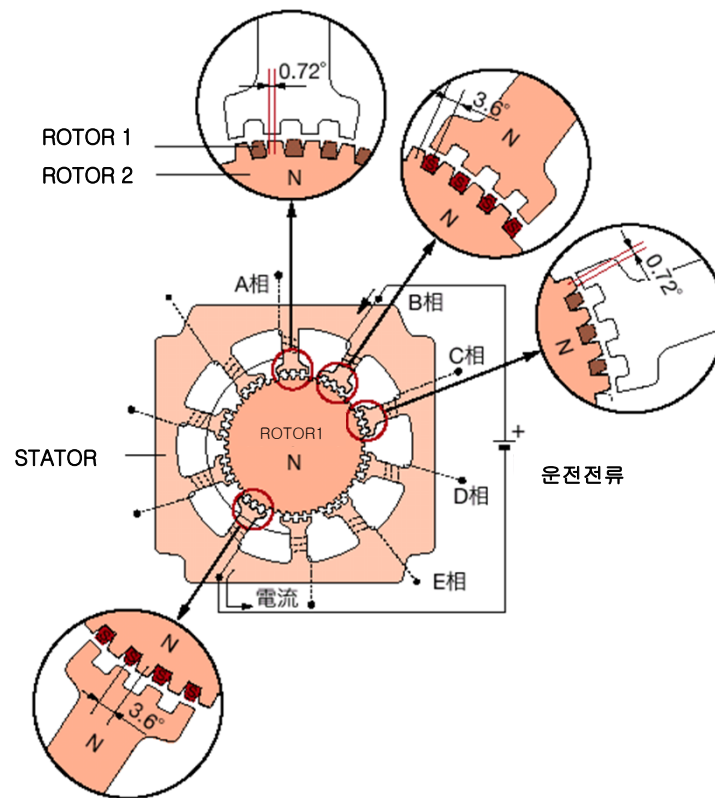


A상에 전류가 공급되면 STATOR는 S극으로 자화되어 N극의 ROTOR1과 흡인력을 가지게 됩니다.

이때문에 정지시 STEPPING MOTOR는 HOLDING TORQUE를 가지게 됩니다.

B상의 STATOR와 ROTOR는 0.72도만큼의 각도차이(어긋남)가 있으며 다음 동작을 준비합니다.

기본 동작원리 – B상 여자

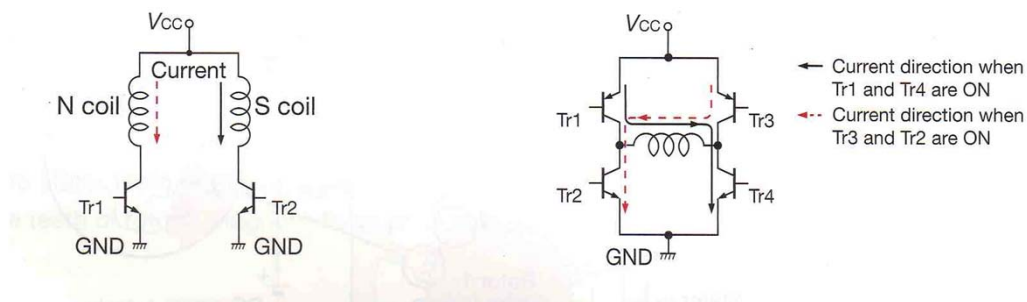


A상의 전류를 차단하고 B상 STATOR에 전류를 인가하면 S극으로 자화됩니다.
 이때 N극의 ROTOR2의 소치(小齒)와 흡인력을 갖게되어 기존 0.72° 의 차이만큼 ROTOR가 동작하게 됩니다.

C상 및 이후의 상 동작시에도 마찬가지로 원리로 동작하여 0.72° 씩 동작합니다.

구동방식 – 2상 STEPPING MOTOR

STEPPING MOTOR를 구동시키는 데에는 각상의 권선 COIL에 전류를 흘려주는 방향에 따라 UNI POLAR 및 BIPOLAR 방식으로 구분됩니다.
두가지의 구동방식에 따라 MOTOR의 결선방법 및 DRIVER의 구동 회로에는 차이가 있습니다.



1. UNI POLAR방식

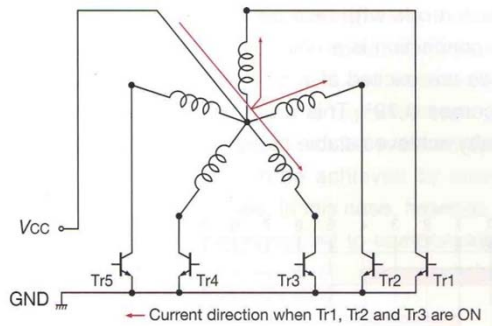
- DRIVER의 회로에 사용되는 Transistor의 수가 적으므로 상대적으로 간단한 회로를 구성할 수 있습니다.
- 일반적으로 고속에서 높은 TORQUE 특성을 보입니다.

2. BI POLAR방식

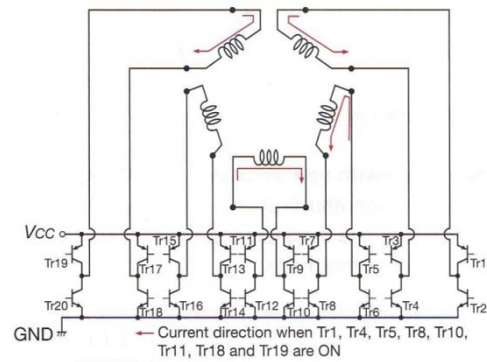
- UNI POLAR방식에 비하여 2배의 Transistor가 사용되지만 저속에서도 높은 TORQUE효율을 갖고 있습니다.

위의 구동방식은 2상 STEPPING MOTOR에 주로 사용되고 있습니다.

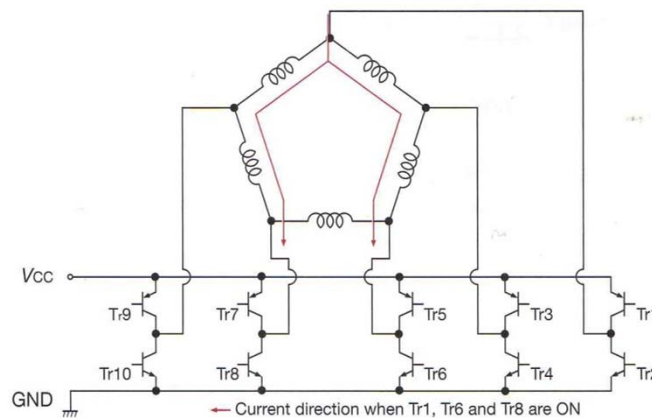
구동방식 – 5상 STEPPING MOTOR



Star Unipolar방식



Standard Bipolar방식



신 Pentagon Bipolar방식

STAR 및 STANDARD 방식은 저속에서의 TORQUE 효율이 저하되고 결선이 복잡합니다.

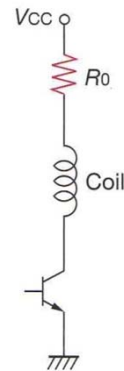
요즘에는 실사용 영역에서의 TORQUE 효율이 높고 결선이 간단하며 DRIVER의 구성이 비교적 용이한 신 PENTAGON 방식의 제품이 많이 사용되고 있습니다.

구동방식 – 정전압 방식

STEPPING MOTOR를 구동할 때 권선 COIL에 전류를 공급합니다.
이때 되도록 일정한 크기의 전류를 공급하기 위하여 정전압 및 정전류 방식을 사용합니다.

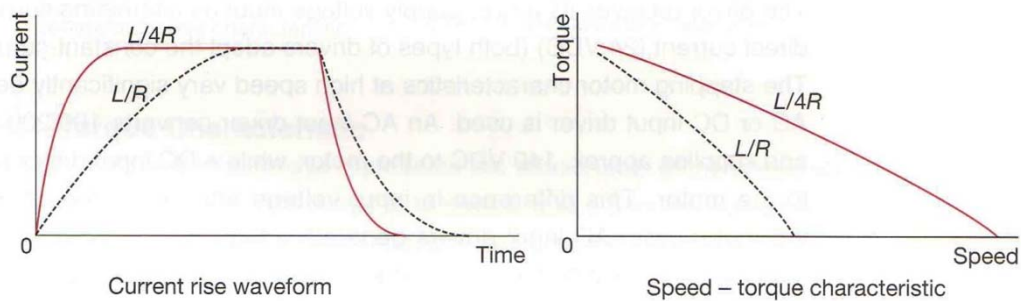
오른쪽 그림은 정전압 방식의 구동회로의 예입니다.

COIL에 인가되는 전류치를 높이기 위해서는 시정수를 낮춰야 합니다.
이를 위해 외부에 저항(R)을 직렬로 연결합니다만, 더욱 큰 힘을 발생시키기 위해서는 저항치를 크게 해줄 필요가 있습니다.

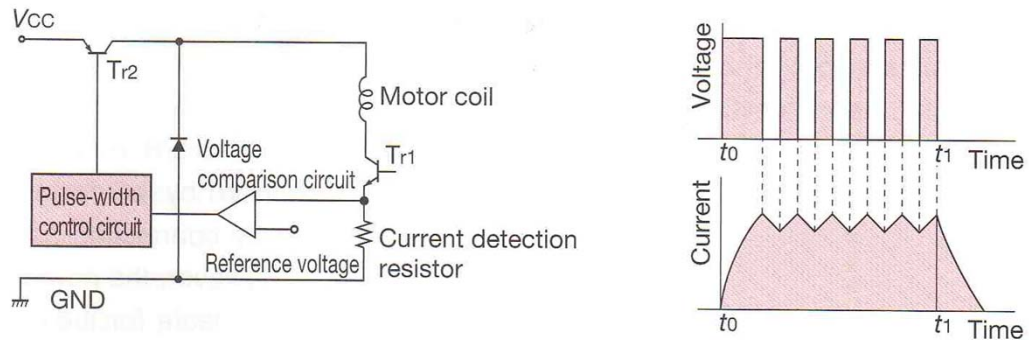


이로 인하여 전류의 저하가 발생하기 때문에 DRIVER의 출력전압도 따라서 높아져야 하는 단점이 있습니다.

다음 그림은 저항의 크기에 따른 TORQUE의 특성입니다.



구동방식 – 정전류 방식



상기 그림은 정전류 방식의 구동회로 입니다.

일반적으로 정전류 방식이 정전압 방식에 비하여 일정한 양의 전류를 권선 COIL에 흘려주기에 유리합니다.

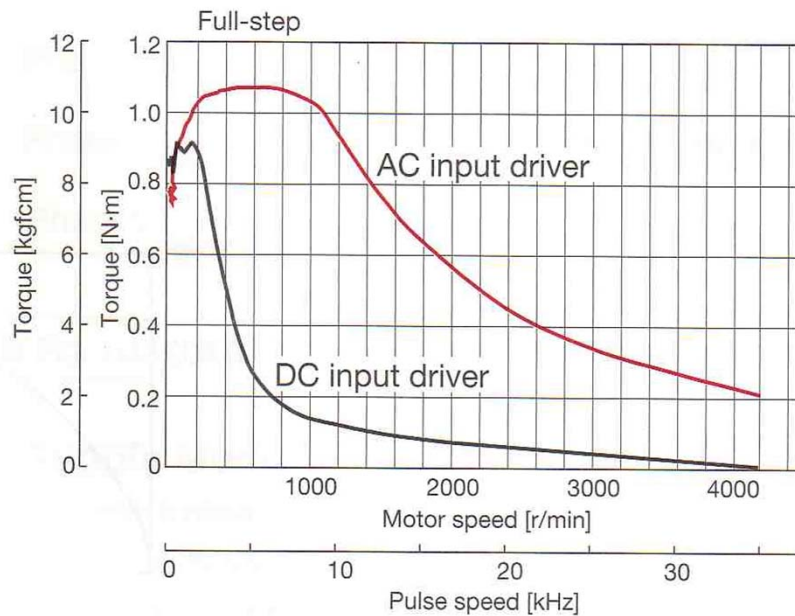
전류검출저항을 이용하여 COIL에 인가되고 있는 전류를 전압으로 검출하여 비교회로의 기준전압과 비교합니다.

이때 COIL의 전압이 기준전압보다 낮으면 CHOPPING 회로내부의 TRASISTOR(T_{r2})가 ON/OFF 되는 시간을 조절하여 전류를 높게 또는 낮게 인가하여 전류를 제어합니다.

이와같은 전압의 제어를 통하여 COIL에 일정한 양의 전류를 공급 하도록 설계되어 있습니다.

현재는 주로 정전류 방식이 많이 사용되고 있습니다.

구동방식 – AC, DC입력



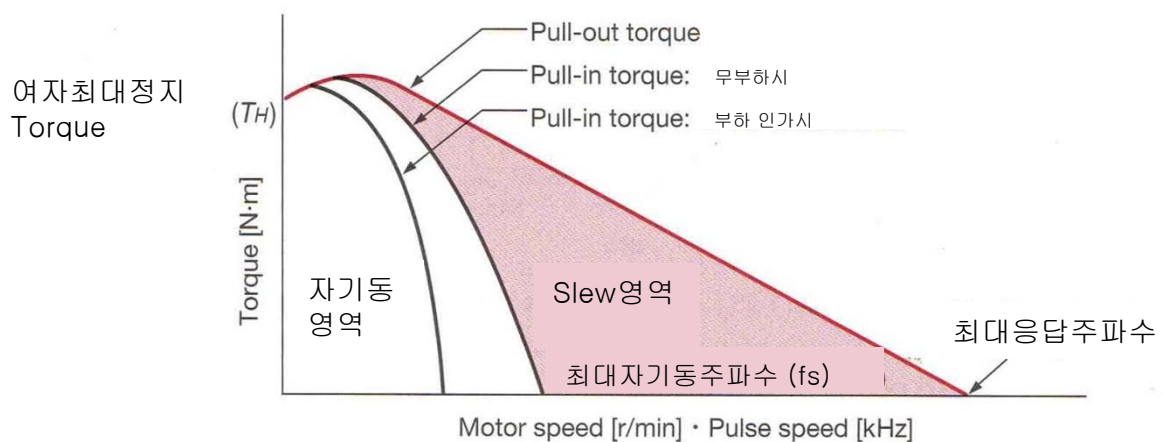
DRIVER의 입력전원은 AC 및 DC로 흔히 구분됩니다.

MOTOR에 입력되는 전원은 DC전원이며, 그러므로 DC입력 TYPE의 DRIVER는 추가적인 변환회로 없이 직접적으로 MOTOR에 DC전원을 공급하기 때문에 회로구성이 간단하여 AC 입력 TYPE에 비하여 저가형으로 제작이 가능합니다.

AC 입력 TYPE의 DRIVER는 AC전원을 DC전원으로 변환하는 회로가 추가되지만 MOTOR에 인가되는 DC전원전압을 상대적으로 높게 (DC140V) 공급할 수 있기 때문에 TORQUE의 상승효과를 가져올 수 있습니다.

Stepping Motor의 특성 - 동특성

회전속도-Torque 특성



여자(勵磁) 최대정지 TORQUE(HOLDING TORQUE)

- STEPPING MOTOR에 정격전류가 인가되어 정지하고 있을 때의 최대 유지 TORQUE(유지력) 입니다.

PULL OUT TORQUE

- 각 회전속도에서 출력되는 최대 TORQUE입니다.

최대 자기동 주파수(fs)

- 무부하시에 가감속시간 없이 순간적으로 기동/정지할 수 있는 최대 PULSE 속도를 나타냅니다.

최대응답주파수

- PULSE지령에 어긋나지 않고 가감속 운전이 가능한 최대 PULSE속도입니다. (무부하시)

SLEW영역

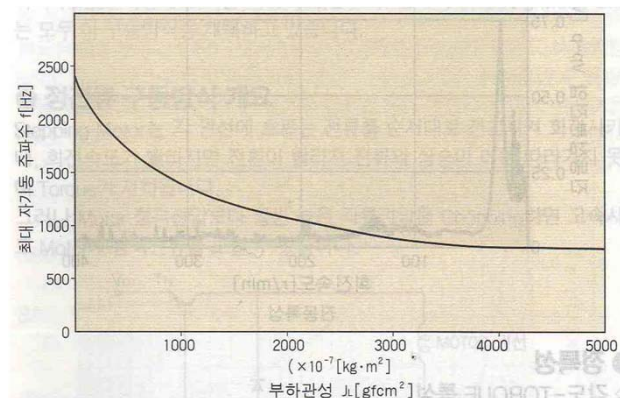
- 가감속 운전으로 구동하는 영역입니다.

자기동영역

- 가감속 없이 순간적으로 기동/정지할 수 있는 영역입니다. (무부하시)

Stepping Motor의 특성 - 동특성

관성부하-자기동주파수 특성



위 그래프는 관성부하의 변화에 따른 자기동 주파수의 변화특성을 나타낸 것입니다.

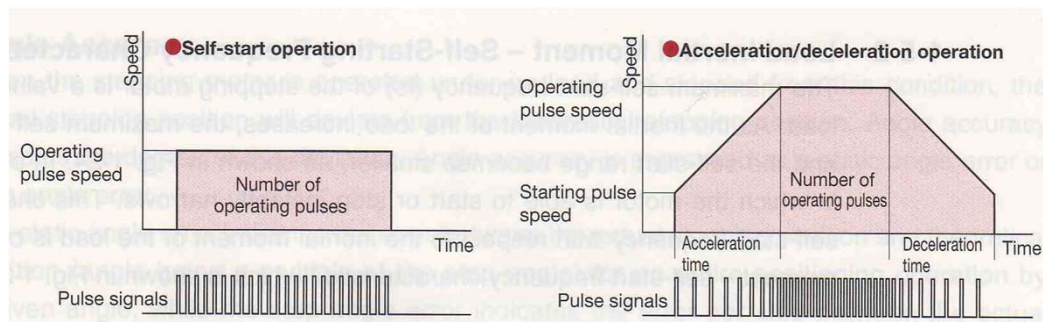
STEPPING MOTOR의 ROTOR나 부하에는 관성 MOMENT가 있기 때문에 순간적으로 기동/저지시에 늦거나 빠른 현상이 MOTOR축에 발생합니다.

이 값은 PULSE의 속도에 따라 변화하지만, 어느 값을 초과하면 MOTOR는 PULSE속도에 따르지 못하고 탈조(MISS STEP)하게 됩니다. 탈조하기 직전까지의 PULSE속도를 자기동 주파수라고 합니다.

오른쪽 그림은 관성부하와 최대 자기동 주파수의 상관관계를 나타낸 공식입니다.

Stepping Motor의 특성 - 동특성

자기동 운전이란



STEPPING MOTOR는 그 독특한 구조로 인하여 상기 그림 처럼 가감속 시간 없이 순간적으로 기동/정지가 가능합니다.

자기동 운전이 가능하기 때문에 가감속 운전을 할 때보다 MOTOR의 회전시간을 줄일 수 있어 TACT TIME을 단축할 수 있습니다.

이것이 STEPPING MOTOR가 응답성이 빠른 이유입니다.

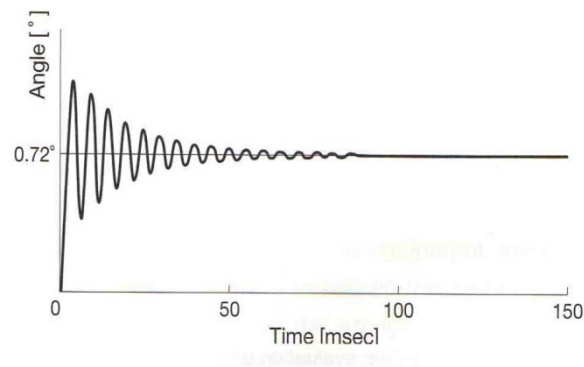
오른쪽에는 일반적으로 자기동 속도를 구하는 방법에 대해 설명하고 있습니다. 실제 자기동 속도는 부하 및 기타 주변 조건에 따라 틀려질 수 있습니다.

$$f = \frac{f_s}{\sqrt{1 + \frac{J_L}{J_0}}} \text{ [Hz]}$$

f_s : MOTOR 단품의 최대 자기동 주파수[Hz]
 f : 관성부하가 있을 경우의 최대 자기동 주파수[Hz]
 J_0 : ROTOR 관성 MOMENT[$\text{kg} \cdot \text{m}^2(\text{gcm}^2)$]
 J_L : 부하 관성 MOMENT[$\text{kg} \cdot \text{m}^2(\text{gcm}^2)$]
 ($J = \frac{GD^2}{4}$ 의 관계가 있습니다.)

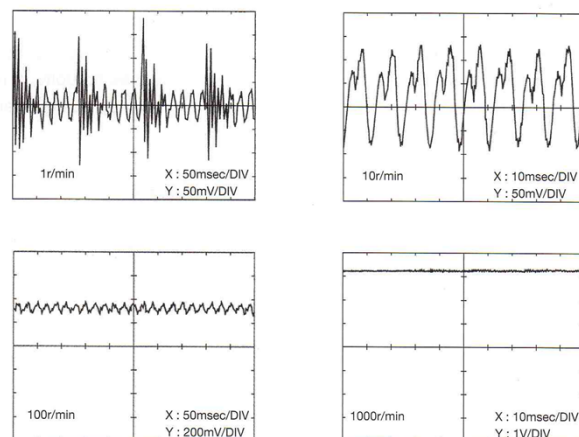
Stepping Motor의 특성 - 동특성

진동특성 (1 STEP 응답)



STEPPING MOTOR는 ROTOR와 STATOR에 소치(小齒)를 가지기 때문에 정지시 또는 저속구동시에 OVER SHOOT / UNDER SHOOT가 발생합니다.

이것이 출력축에서의 진동으로 나타나게 되며, 속도대별 진동특성은 다음의 그림과 같습니다.



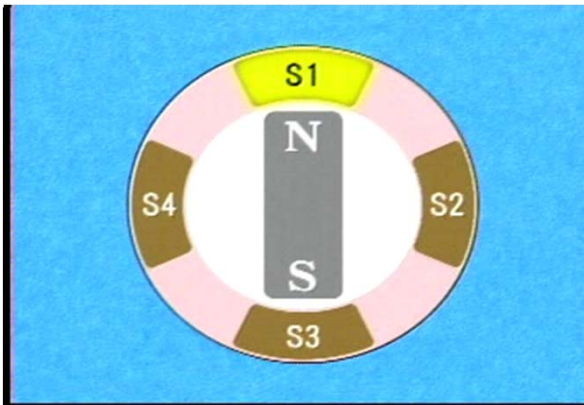
MICRO STEP 및 SMOOTH DRIVE 구동기술을 이용하면 저속구간에서 발생하는 진동 및 소음을 효과적으로 저감할 수 있습니다.

MICRO STEP DRIVE기술

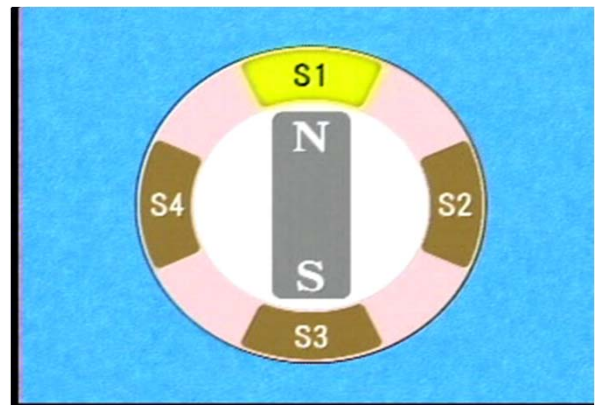
COIL에 흐르는 전류를 제어하여 MOTOR의 기본 STEP각을 세분화 하는 기술로서
초저속/초저진동/저소음운전을 실현한 기술입니다.

기본 스텝각을 1/1 ~ 1/250까지 세분화할 수 있습니다.

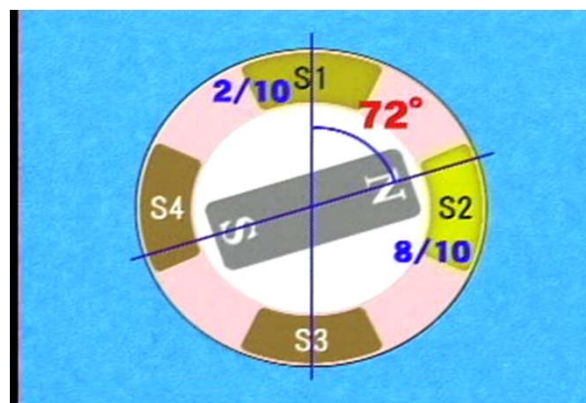
다음 그림은 MICRO STEP의 원리를 도식화한 그림입니다.



FULL STEP

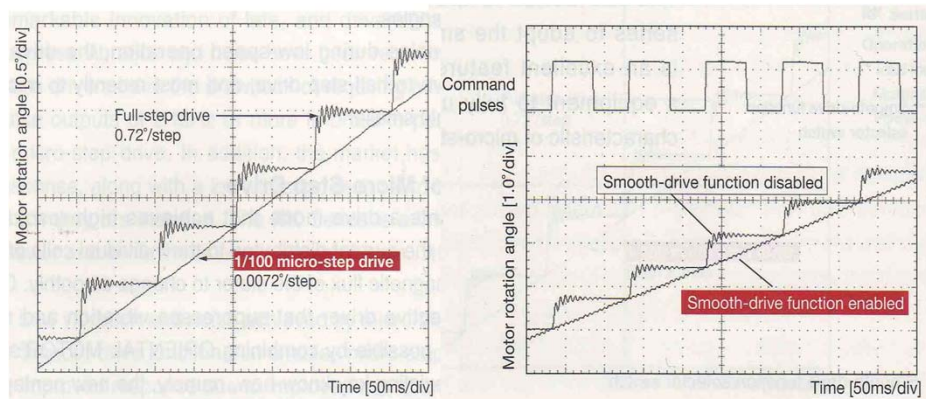


HALF STEP



MICRO STEP

MICRO STEP 및 SMOOTH DRIVE 기술



좌측의 그림은 Micro Step Drive, 우측의 그림은 Smooth Drive 기술을 사용했을 때의 진동특성입니다.

Micro Step 기술을 사용하여 Stepping Motor를 구동하면 토크리플을 억제하기 때문에 진동이 저감되고 동작 중 노이즈 발생을 줄이는 효과가 있습니다.

우측의 그림은 Smooth Drive 기능을 사용할 때와 사용하지 않을 때의 특성을 비교합니다.

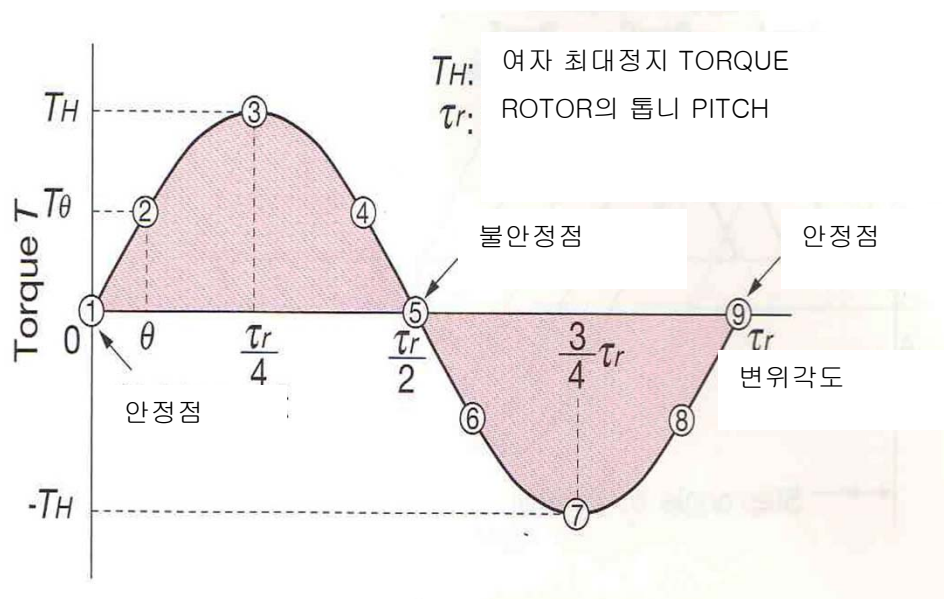
Smooth Drive 기능을 사용하면 Drive에서 자동적으로 pulse를 잘게 쪼개어 (Micro Step) 구동합니다.

그러므로 구동시의 진동을 효과적으로 저감할 수 있습니다.

Smooth Drive 기능 적용시 Pulse수, Pulse속도는 그대로 입력하여도 Drive에서 자동적으로 Micro Step을 실행하므로 사용이 편리한 장점이 있습니다.

Stepping Motor의 특성-정특성

각도-TORQUE 특성

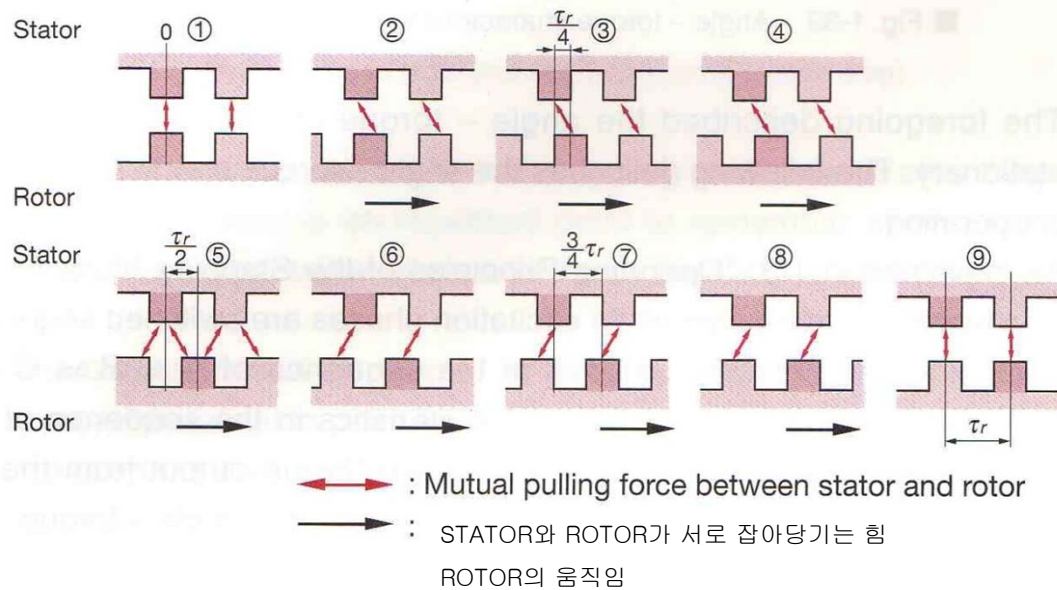


MOTOR에 정격전류를 인가하고 SHAFT에 외력을 가하여 ROTOR에 각도변화를 주었을 때 각도-TORQUE의 관계이며 위와같은 특성을 보입니다.

다음장에 각 POINT에서의 STATOR 및 ROTOR의 소치(小齒)의 관계를 그림으로 설명합니다.

Stepping Motor의 특성-정특성

각도-TORQUE 특성



①의 위치에서 SHAFT에 외력을 가하면 반대방향으로 TORQUE가 발생하며 ②의 위치에 정지합니다.

이때 계속 외력을 가하면 발생 TORQUE가 최대가 되는 각도가 있으며 (③위치), 이때의 힘을 HOLDING TORQUE라고 합니다.

초과하는 힘을 계속적으로 가하면 불안정점 ⑤를 지나 다음 안정점 ①의 위치로 이동 후 정지합니다.

안정점

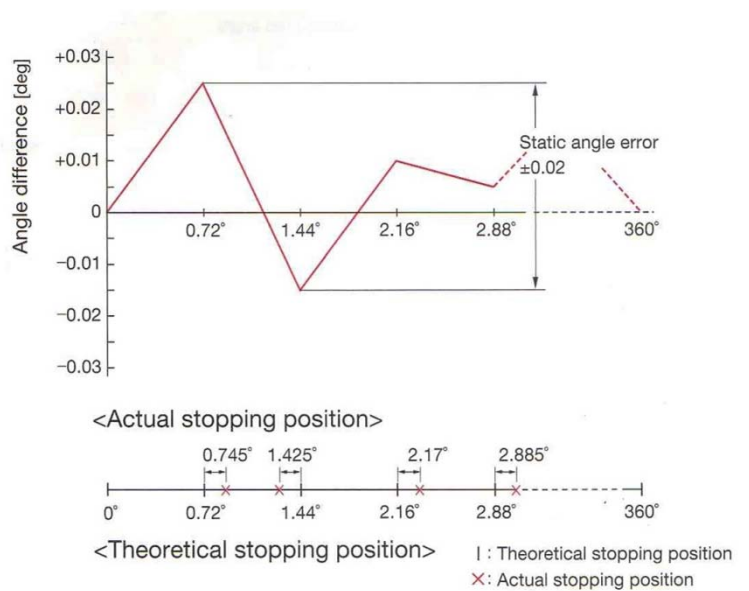
- STATOR와 ROTOR의 소치(小齒)가 완전히 마주본 위치에서 정지하고 있는 부분. 외력이 0일 때 이 위치에서 정지합니다.

불안정점

- STATOR와 ROTOR의 소치(小齒)가 $\frac{1}{2}$ 피치 어긋난 부분이며, 외력이 조금이라도 가해지면 오른쪽 또는 왼쪽의 안정점으로 이동합니다.

Stepping Motor의 특성-정특성

STEPPING MOTOR는 무부하상태에서 ± 2 분(0.03°)의 각도정밀도를 갖고 있습니다. 주로 STATOR와 ROTOR의 기계적 저밀도, STATOR 권선의 미세한 저항차이에 의하여 발생하며, 일반적으로 다음의 정지 각도오차로 설명합니다.

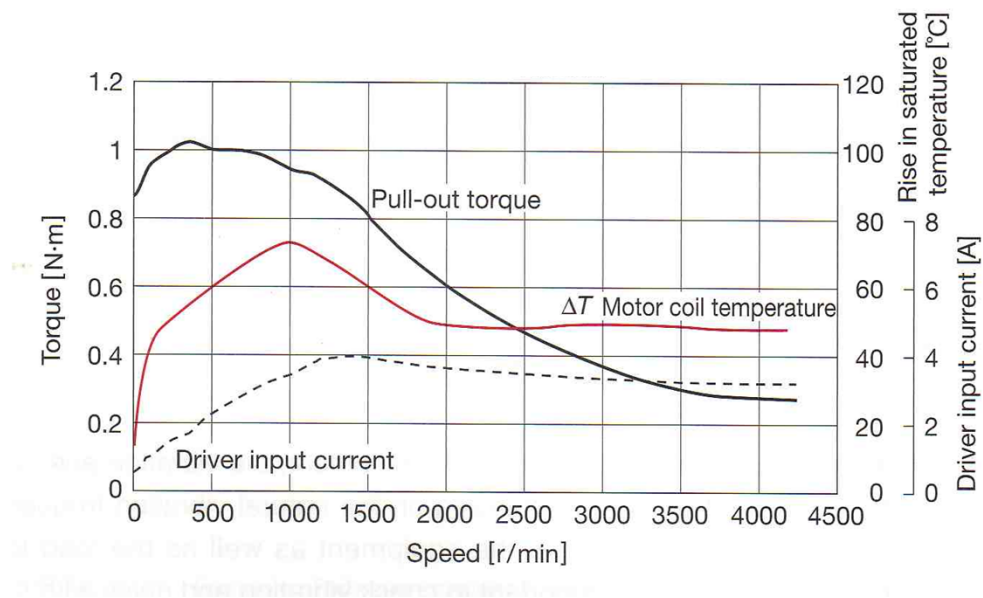


1STEP 씩 360° 를 측정하였을 때 \pm 방향으로 +최대값과 -최대값의 폭을 나타냅니다.

실제 사용시에는 마찰부하에 의한 오차도 발생하므로 이때 정역 운전시에는 왕복으로 2배의 변위가 발생합니다.
그러므로 고정도의 운전에는 한방향 위치결정 운전이 유리합니다.

Stepping Motor의 특성

속도-온도상승 특성



정지시에도 각 상에 일정량의 전류를 공급하여 HOLDING TORQUE를 발생시키기 때문에 약간의 열이 발생합니다.

또한 OPEN LOOP 제어 특성상 구동시에는 최대치(정격)의 전류를 공급하기 때문에 온도상승 특성은 위의 그림과 같습니다.

최대온도는 효율이 가장 높은 1200RPM대에서 발생하며, TORQUE가 저하되는 고속영역에서는 각 상의 권선 COIL에 공급되는 전류치가 저하되므로 발열의 정도도 떨어지게 됩니다.

Stepping Motor의 특성

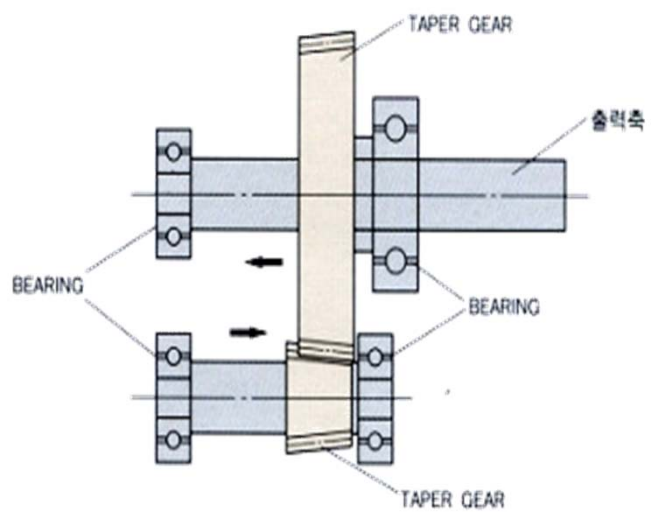
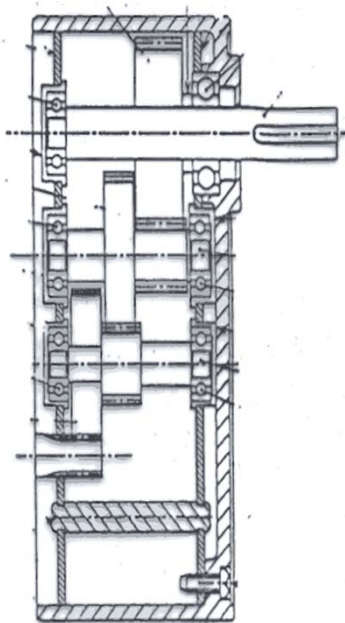
절연등급 및 허용온도

절연등급	최고허용온도
Y種	90°C
A種	105°C
E種	120°C
B種	130°C
F種	155°C
H種	180°C

당사 STEPPING MOTOR 제품은 대부분 B종 절연등급입니다.
MOTOR의 내부 COIL온도가 130도, CASE의 온도는 100도까지 허용합니다.
MOTOR에 정격전류 이상의 과전류 인가시 및 주변온도가 높은 조건은 피해주시기 바랍니다.

감속기의 종류 및 특징

SH, TH GEAR



SH(Spur Hubbing) 감속기

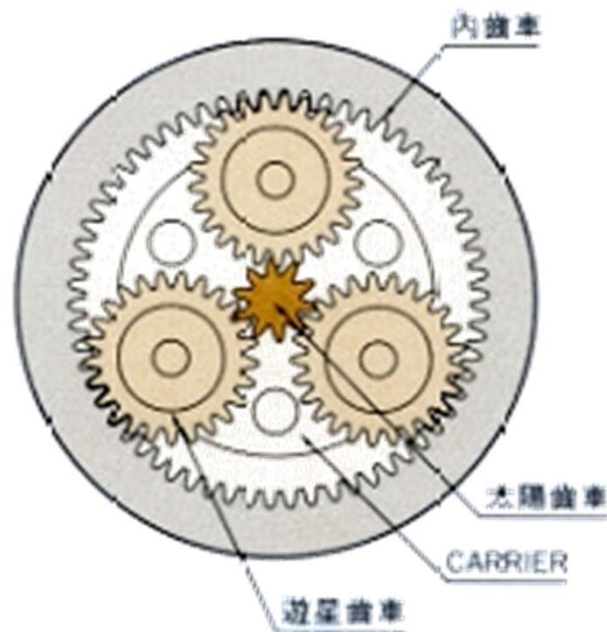
- 주로 2상 STEPPING MOTOR에 많이 사용되며, 동력용으로 사용되는 평치차 TYPE 감속기입니다.
- 내부에는 평치차를 사용했기 때문에 BACK LASH가 큼니다. ($1\sim 2^\circ$)

TH(Taper Hubbing) 감속기

- 출력단의 치차에 원추형 치차를 사용하여 서로 맞물리도록 합니다.
- 이로인하여 BACK LASH를 억제하고 있습니다. ($0.17\sim 0.75^\circ$)

감속기의 종류 및 특징

PL GEAR



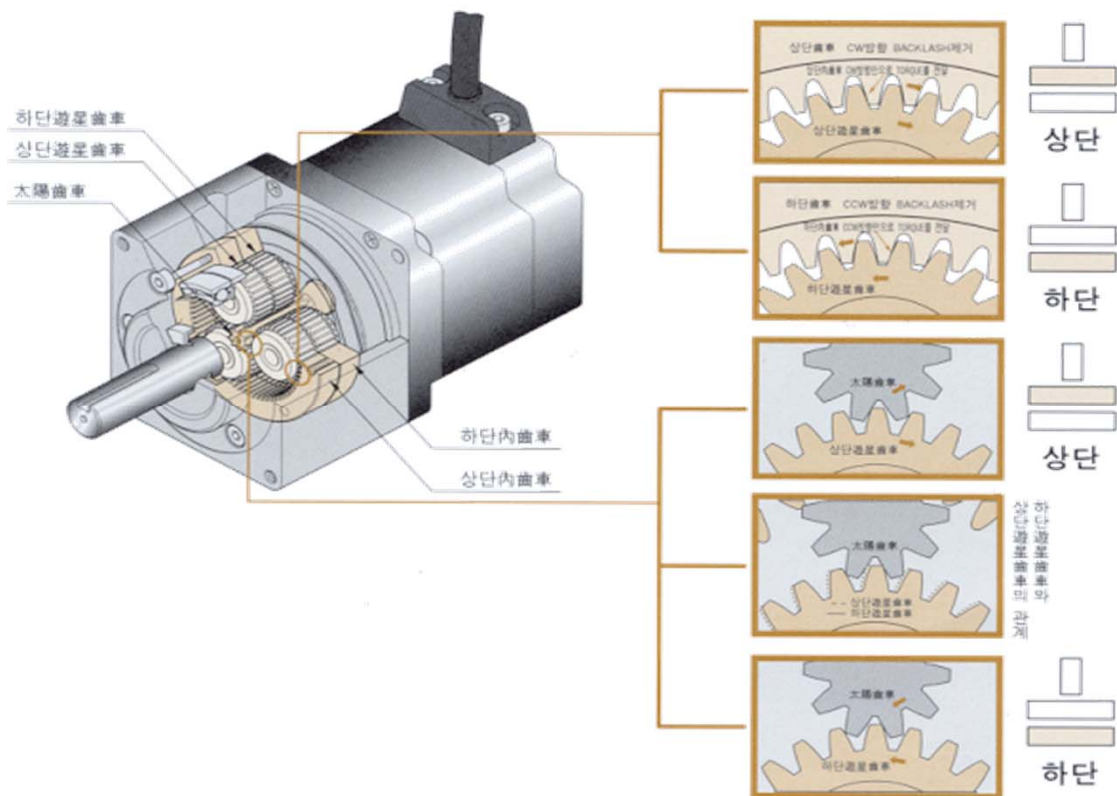
태양치차, 유성치차, 내치차의 3가지 부품으로 구성되어 있습니다.
MOTOR의 PINION GEAR인 태양치차를 중심으로 3개의 유성치차가
주변을 공전합니다.

유성치차는 CARRIER 및 출력 SHAFT와 함께 조립되어 출력축을 회전
시킵니다.

유성치차 기구는 3개 이상의 유성치차로 TORQUE를 분산 전달하므로
큰 TORQUE를 전달할 수 있으며 BACK LASH도 효과적으로 줄일 수
있습니다. (0.25~0.58°)

감속기의 종류 및 특징

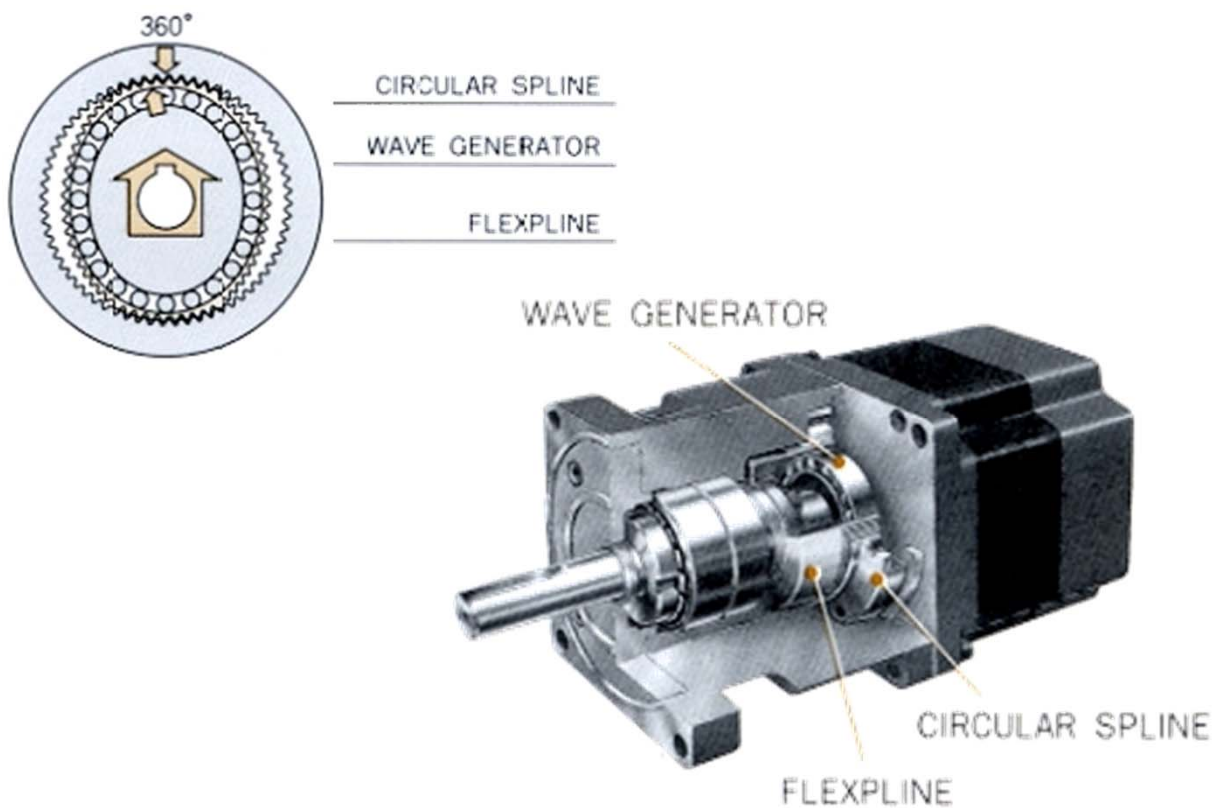
PN GEAR



내치차와 유성치차가 2단으로 구성되어 있어 CW 및 CCW방향측의 BACK LASH를 제거하여 PL GEAR에 비하여 더욱 향상된 정밀도를 얻을 수 있습니다. (0.05°)

감속기의 종류 및 특징

HARMONIC GEAR



금속 탄성역학을 응용한 Wave Generator, Flexpline, Circular Spline의 3가지 부품으로 구성되어 있으며, 일반 감속기와는 달리 BACK LASH 없이도 GEAR의 구동이 가능하기 때문에 가장 높은 위치결정 정도를 발휘합니다.
(BACK LASH 0)

HARMONIC GEAR의 정밀도에 대하여

Harmonic Gear는 Backlash가 전혀없는 고정도의 특성을 발휘합니다.

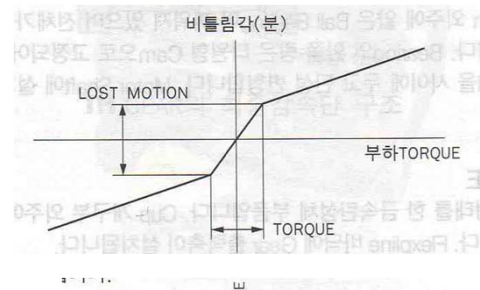
그러나 2분 이하의 초고정도 위치결정을 실시할 때에는 Gear 자체의 비틀림이 문제가 됩니다.

초고정도로 사용할 때는 다음 3가지의 오차를 고려해야 합니다.

LOST MOTION

Gear출력축에 허용 Torque의 약 5%의 Torque를 가했을 때 생기는 변위의 합계입니다.

Harmonic Gear는 Backlash가 전혀 없으므로 Gear의 정도를 나타내는 기준을 Lost Motion으로 나타냅니다.

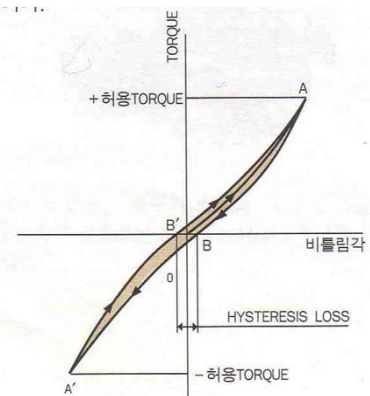


HYSTERESIS LOSS

정역방향으로 비틀림 Torque를 가하거나 정역방향의 위치결정시에는 비틀림각이 발생하며, 원래의 자리로 돌아가도 비틀림각은 0이 되지 않습니다.

이것이 Hyteresis Loss로서 그 값은 2분 이내이며, 그림의 B-B'입니다.

2분 이하의 위치결정시에는 동일 회전방향으로 위치결정을 해주십시오.



TORQUE-비틀림 특성

출력축에 외력이 가해지면 Gear의 Spring 정수관계에 의해 변위가 발생합니다.

주로 마찰부하가 가해진 상태에서 구동하는 경우 발생하며 오른쪽 그림과 같은 관계가 있습니다.

