

1. 모터의 정의

1-1 모터란?

모터는 우리 주변에서 쉽게 얻을 수 있는 전기 에너지를 물리적인 법칙에 따라 기계적인 에너지로 변환하여 우리의 일상생활에 편리함을 제공해 주는 기능을 가진 것으로서 효율을 가지고 있는 구동장치입니다.

1-2 소형모터란?

모터는 사용하는 전원, 구동 및 제어방식, 크기와 출력, 형태와 용도에 따라 다양하게 분류하고 있습니다. 산업용 중대형 모터를 제외한, 일상생활에서 쉽게 볼 수 있는 것을 일반적으로 소형모터라고 부르고 있는데 대략 다음과 같은 것을 의미하고 있습니다.

손바닥에 얻을 수 있는 크기로서 70와트 미만의 직류 모터, 그리고 100와트 미만의 교류 모터 (미국 등에서는 통상 1 마력 급)까지를 일컫습니다. 하지만 진공청소기, 전동공구류와 같은 고속 모터의 경우 1킬로와트까지도 포함할 수 있습니다.

2. 모터 용어 해설

모터를 사용하는데 있어 필요한 용어를 알아두시면 이해하는데 도움이 됩니다.

단자 전압 terminal voltage

모터가 전류를 받아들이는 끝단을 단자라고 하는데, 단자간의 전압을 말합니다.

전류 current

권선된 마그네트 와이어에 흐르는 전류

정격 rated

사용 조건에 적합하도록 설정된 한도를 말하는데, 전압, 회전수, 토크, 전류, 주파수 등을 지정합니다. 정격에는 연속정격, 단속정격, 반복정격으로 구분할 수 있습니다.

입력 input

모터에 공급된 전력을 말합니다. $1[W] = 1[V] \times 1[A]$

출력 output

모터가 수행한 일을 말하며 토크와 회전수의 곱. $1[W] \approx 0.974[kg.m] \times 1[rpm]$

효율

입력에 대한 출력의 비율

기동 토크 starting torque

정지 상태의 모터에 전원을 인가한 순간 회전자의 축에 걸리는 최대 토크

기동 전류 starting current

정지 상태의 모터에 전원을 인가한 순간 모터에 흐르는 순간 전류

정동 토크 stall torque

작동 중인 모터의 축에 부하를 점점 크게 하여 모터가 정지할 때 회전자의 축에 걸리는 토크

정동 전류 stall current

작동 중인 모터의 축에 부하를 점점 크게 하여 모터가 정지할 때 흐르는 전류

누설 자속 leakage flux

자기 회로에서 포화가 일어나 자속이 자로 밖으로 이탈한 것을 말하는데, 모터의 동작에 유효하게 사용되지 않으므로 손실이 됩니다.

동손 copper loss

권선의 저항에 의해 생기는 주울(joule) 열 손실이 발생하는 것을 말합니다.

철손 steel loss

회전자 또는 고정자의 철심에 와류손실이 발생하는 것을 말합니다.

무부하 손 no-load loss

모터가 외부에 아무런 일을 하고 있지 않는 운전 상태에서 생기는 손실입니다. 여기에는 베어링의 구름마찰, 브러시와 정류자간의 마찰, 회전자가 일으키는 바람, 철손, 동손, 코깅 토크의 영향 등을 포함하고 있습니다.

전압 강하 voltage drop

모터에 전류를 흐르게 하면 경로상의 전기저항 때문에 배터리나 파워서플라이의 전압이 낮아지게 되어 모터의 단자에 인가되는 전압이 낮게 측정됩니다.

절연 계급 insulation level

전기기기에서 절연 강도 계급

절연 내력 dielectric strength

절연 재료가 어느 정도의 전압에 견딜 수 있는가의 정도

절연 저항 insulation resistance

절연물에 높은 직류 전압을 가하면 극히 작은 전류가 흐르는데 이 경우의 전압과 전류의 비.

절연 파괴 destruction of insulator

절연물에 가해지는 전압을 차츰 증가시켜 가면 어떤 값 이상의 고전압에서 급격히 방전 현상을 일으키는 것을 말합니다.

정류 commutation

교류 전류를 맥류 또는 직류로 변환하는 것을 말한다. 교류 전압의 반만을 꺼내는 반파 정류와 양쪽을 모두 꺼내는 전파 정류가 있습니다.

특성 곡선 characteristic curve

모터에 인가한 전압에 대하여 회전 속도, 전류, 토크, 효율, 출력 등의 성질을 나타내는 수치를 그린 곡선을 말합니다.

플레밍의 법칙 Fleming's rule

- 1) 오른손 법칙 : 전자 유도에 의한 유도 기전력의 방향을 나타내는 법칙이다. 오른손의 검지를 자력선의 방향, 엄지를 도선의 운동 방향으로 향하게 하면 중지는 유도 기전력의 방향을 가리킵니다.
- 2) 왼손 법칙 : 전자력의 방향을 왼손으로 나타내는 방법. 왼손의 중지를 전류의 방향, 검지를 자계의 방향으로 향하게 하면 엄지는 도선의 운동방향을 가리킵니다.

3. 모터의 종류

모터는 전원, 구동 방식, 제어 방식, 출력 특성에 따라 종류 및 분류가 다양합니다만 여기서는 직류 파워 (브러시.코어) 모터, 직류 브러시리스 모터, 스테핑 모터를 간단히 알아봅니다.

3-1. 직류 파워 (브러시.코어) 모터 dc brushed motor

보통 소형직류모터라고 불립니다. 내부에 전원 공급을 위한 브러시와 정류자가 있으며 회전자에는 권선을 하기 위한 로터 코어(rotor core)가 구성되어 있습니다.

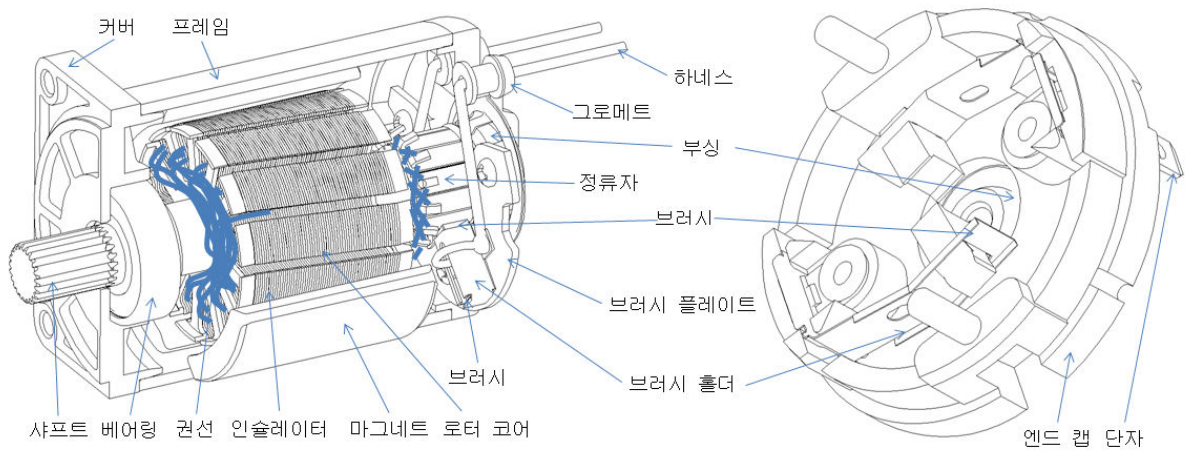
정의: 고정자에 영구자석을 사용하고 회전자에 권선을 한 소형 정밀 정류 모터

장점: 소형화가 용이하다. 가격이 저렴하다. 효율이 높다. 기동토크가 높다.

단점: 브러시가 신뢰성 (수명)을 떨어뜨린다. 전기노이즈가 생긴다. 소음을 발생한다. 정속성을 유지하기 어렵다.

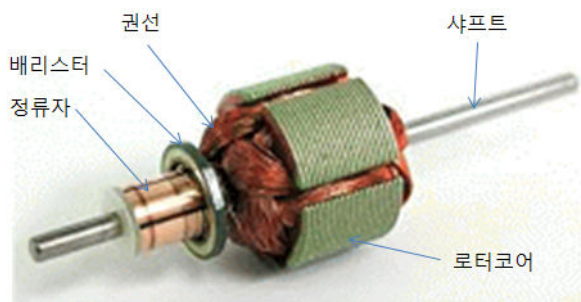
용도: 자동차 전장품. 오디오 기기. 카메라. 광학기기. 사무기기. 가전. 완구. 기타

구성: 모터는 정류자가 부착된 회전자, 자석이 설치된 프레임(또는 고정자), 전원 공급을 위한 엔드 캡으로 구성되어 있습니다.



[모터의 내부 구조]

[엔드 캡의 내부 구조]



[회전자 모습]

샤프트 shaft

회전자의 중심축으로서 끝단에 풀리, 기어, 팬 등을 설치할 수 있습니다. 소재로는 경강선재나 스테인리스 선재를 많이 사용하고 있으며 필요에 따라 열처리를 하여 사용합니다.

로터 코어 rotor core

회전자에 에나멜선을 감을 수 있도록 고안된 철심을 말하는데 통상 고 순철에 3~4%의 규소를 첨가한 강판을 사용하고 있습니다.

인슐레이터 insulator

권선과 로터 코어 사이에 절연을 구성하기 위해 플라스틱 수지로 제작하여 사용합니다.

정류자 commutator

모터에서 회전자에 발생한 교류 기전력을 정류하는 부분으로, 회전자가 브러시로부터 전기를 공급받을 수 있도록 합성수지의 외곽에 여러 조각의 구리판으로 만든 정류자 편을 구성한 것입니다.

마그네트 와이어 magnet wire

에나멜선이라고도 하며, 회전자에 감아 놓은 절연된 구리선으로 직류 전류가 흐르게 됩니다.

권선 winding

회전자에 에나멜선을 기계적으로 감는 것 또는 감아 놓은 것입니다.

슬롯 slot

고정자나 회전자에 권선을 넣기 위해 철심에 파져 있는 홈으로 일정한 법칙에 의거하여 슬롯의 수가 결정됩니다.

에어 갭 air gap

회전자의 원주면과 고정자(마그네트)의 끝 면사이의 간극 또는 자기 회로에서 공극을 말합니다.

아마추어 armature

전기자(armature), 회전자(rotor) 등으로도 불리며 철심에 권선된 덩치를 말합니다.

프레임 frame

케이스 (case)라고도 하며, 마그네트를 설치하여 자기장을 유지하고 베어링을 설치하여 회전자를 지지해 주는 역할을 합니다.

마그네트 magnet

모터에 자기장을 형성하기 위해 프레임 내부에 설치한 것으로 전자석과 영구 자석이 있습니다. 영구자석은 산화철을 사용한 페라이트 (ferrite)계열과 희토류 (rare earth) 금속을 사용하는 것이 있으며 성형 재질에 따라 금속, 소결, 플라스틱, 고무 마그네트 등으로 나뉩니다.

마그네트 홀더 magnet holder

마그네트를 프레임 내부에 설치할 때 이탈되지 않도록 마그네트를 지지해 주기 위한 부품입니다만, 접착제를 사용하기도 합니다.

소결 베어링 sintered metal bearing

볼(ball)이나 니들(needle)베어링 대신 금속분말을 소결시켜 성형한 후 윤활유를 함침 시킨 부품을 말합니다.

엔드 캡 end cap

엔드 벨 (end bell) 또는 커버 (cover)라고 하며 회전자를 지지하는 베어링, 전류를 공급해주는 브러시, 스프링, 브러시 홀더와 기타 부품 설치되어 있으며 합성수지 또는 알루미늄이나 아연과 같은 금속으로 제작하여 사용합니다.

브러시 brush

회전하는 정류자에 전원을 공급하기 위한 접촉물로 금속판으로 된 것과 카본 (carbon)을 압축 소결하여 제작하는 것이 있습니다. 카본 브러시의 경우 외부로부터 전력을 공급받을 수 있도록 구리선 (brush shunt)을 심어 둔 것과 그렇지 않은 것이 있습니다.

브러시 스프링 brush spring

브러시를 일정한 압력으로 정류자에 밀착시켜 주는 기능을 합니다.

브러시 홀더 brush holder

브러시와 스프링을 지지해 주는 외곽 구조물입니다.

브러시 플레이트 brush plate

금속으로 된 엔드 캡에 브러시, 브러시 스프링, 브러시 홀더를 설치하기 위한 얇은 판재를 말하며, 엔드 캡과 절연을 시켜주기 위해 합성수지 판재를 많이 사용합니다.

그로메트 grommet

모터에 전원을 공급해주는 하네스를 지지해 주고 외부로부터 물이나 이물질이나 내부로 유입되는 것을 막아주기 위해 엔드 캡 또는 프레임에 설치하는 것으로 합성수지 또는 고무로 제작하여 사용합니다.

3-2. 브러시리스 모터 brushless motor

직류파워(브러시)모터는 회전자에 전원을 공급하기 위해 정류자와 브러시를 사용하는데 운전 시 서로 간에 마멸이 일어나서 모터의 수명이 다하게 될 뿐만 아니라 정류 과정에서 전자파가 발생하는 단점이 있습니다. 이점을 보완한 것이 브러시리스 모터입니다. 브러시리스 모터는 전류의 파형이 구형인 경우 BLDC 모터, 사인파형인 경우 BLAC 모터로 구분하기도 합니다.

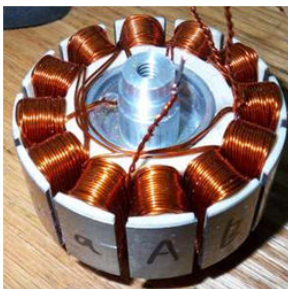
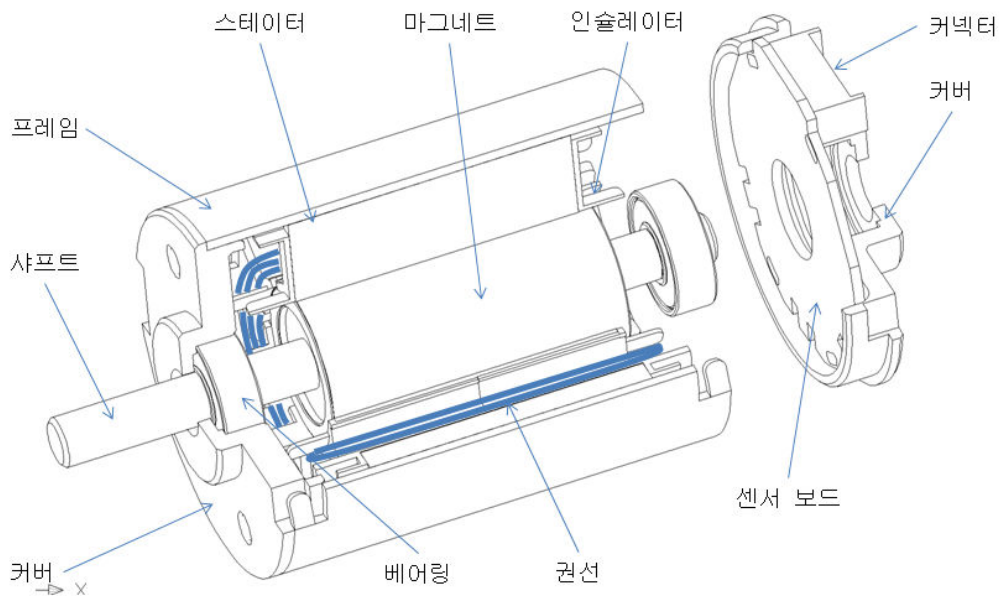
정의: 직류모터의 브러시와 정류자를 트랜지스터랑 SCR등으로 변환한 모터. 회전자에 영구자석을 사용하고 브러시를 사용하지 않는다.

장점: 마찰도가 적어 수명이 길다. 신뢰성이 높다. 노이즈가 적다. 고속회전이 가능하다.

단점: 고속 직류 (브러시) 모터에 비해 응답성이 낮고 가격이 높다.

용도: HDD. DVD 등 컴퓨터 주변기기의 스피들. 복사기 스캔/드럼 구동. 고급 오디오. 에어컨 실내기. 계측기. 제어기기. 기타

구성: 모터는 영구자석이 부착된 회전자, 권선이 되어 있는 스테이터, 회전자의 위치 검출을 위한 센서보드, 모터 제어를 위한 컨트롤러, 프레임 및 앞 뒤 커버로 구분됩니다.



[스테이터 Stator Asm]



[센서보드 Sensor Board]



[모터 컨트롤러]

스테이터 stator: 마그네트 와이어가 권선되어 있는 고정자를 말합니다. 스테이터에 슬롯이 구성되어 있는 슬롯타입 (slot type)과 슬롯리스타입(slotless type)으로 구분 됩니다.

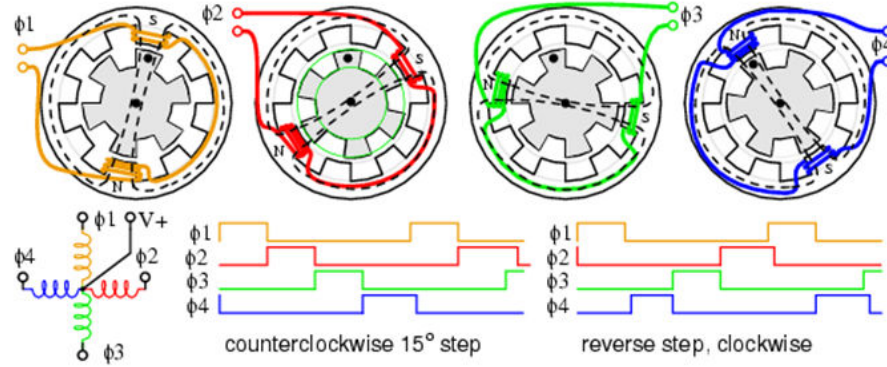
센서보드 sensor board: 회전자의 위치를 검출하기 위한 센서, 전원공급선, 부수적인 전자 부품을 설치한 회로기판을 말합니다.

센서 sensor: 회전자의 위치를 검출하기 위한 것으로, 회전자에 부착되어 있는 마그네트의 극성을 읽어내는 것이 주 기능입니다. 주로 홀 (hall) 소자 또는 MR 소자를 사용합니다.

컨트롤러 controller: 센서로부터 검출한 회전자에 위치에 맞춰 스테이터의 권선에 전류를 공급해 주기 위한 장치로, 부가된 기능에 따라 기동/정지, 정/역전을 할 수 있습니다. 모터 구동 기능만을 가진 채 단독으로 제작되기도 하나 제품 또는 시스템에서 모터 제어 기능으로 내장하여 사용하기도 합니다.

3-3. 스텝핑 모터 stepping motor

스텝핑 모터는 독특한 치형으로 구성된 회전자와 스테이터 코어에 전류를 공급하여 매 펄스마다 스텝형태로 회전을 하도록 한 것으로 저속-고토키가 특징입니다.



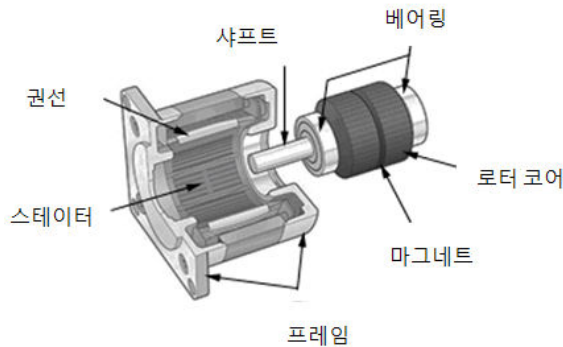
정의: 고정자 권선의 입력 펄스에 스텝 (step) 파형을 부여해서 회전자를 스텝 (step) 상태로 회전시키는 모터.

장점: 오픈-루프 (open-loop) 제어가 가능하고 입력 펄스(pulse)의 주파수에 비례하여 회전속도를 얻을 수 있으며 고 정도의 위치결정이 가능합니다. 디지털기기와의 적합성이 좋으며 특히 저속 고 토키가 장점입니다.

단점: 속도 변동이 커 공진, 진동 소음을 발생하기 쉬우며 직류(브러시)모터에 비해 가격이 높습니다.

용도: 프린터 라인피드 구동. 프린터 헤드 구동. FA기기 제어용. 계측기. 자동차 전장용. 팩스 급지용. VTR. 카메라.

구성: 회전자, 권선이 되어 있는 스테이터, 프레임, 전원공급제어부(컨트롤러)로 나뉘어 있습니다.



[내부 구조]



[모터 컨트롤러]

4. 모터의 제어

모터의 회전수를 변화시키는 가장 손쉬운 방법은 입력 전압(또는 전류)을 변화시키는 것인데 이것에는 크게 나누어서 2가지 제어방법이 있습니다.

4-1 저항 제어법

모터와 전원 사이에 아날로그적인 전압조정기를 삽입하여 모터에 공급되는 전압을 제어하는 방법입니다. 전압 조정기로는 트랜지스터나 가변저항기가 사용됩니다. 이 방법이 저항 제어법이라고 불리워지는 것은, 트랜지스터 등의 전력 제어 소자를 사용하여 전력 손실을 발생시켜 줄(joule)열로 소비시키기 때문입니다. 이 방법은 모터에 주는 영향이 적고 원활한 회전 특성을 나타낼 수 있지만 전력 효율이 매우 나쁘고 제어용 트랜지스터의 부담도 크게 되어 비경제적인 제어법이라 할 수 있습니다. 그 때문에 통상 10W 이내의 소형 모터에 밖에 사용되지 않습니다..

4-2 펄스 제어법

듀티(ON-OFF 타임의 비) 제어를 통한 방법입니다. 전력을 주파수로 세분화 하여 ON 이나 OFF 상태의 반복으로 공급하도록 되어 있기 때문에 OFF 타임에서의 전력손실이 없고 ON 타임에서도 제어 트랜지스터가 완전히 포화되어 있어서 전력 손실이 매우 적어집니다. 이러한 내용으로 보면 펄스 제어법이 모든 면에서 우수한 것과 같이 생각될 지 모르나 펄스 제어법에도 몇 가지 결점이 있는데 펄스 구동에 의한 모터의 진동음, 브러시와 정류자에 주는 영향, 고주파 노이즈 발생 등의 문제가 있습니다. 하지만 제어기술의 진보와 실드대책에 의해 상당히 개선되어 있으므로 특별한 사정이 없는 한 펄스 제어법이 유리하다고 볼 수 있습니다.

펄스 제어법에는 스위칭 제어법, 초퍼 제어법, PWM 제어법 등이 있습니다.

5. 모터 축에 걸리는 부하

모터의 동력을 대상 기계로 전달하기 위해서는 커플링, 기어, 풀리 등을 모터 축에 설치하여 사용해야 합니다.

커플링에 의한 직결을 제외한, 모터 축에 직접적으로 걸리는 경우에는 반지름 방향으로 걸리는 수직하중 (overhang load) 과 축 방향으로 걸리는 스러스트 하중 (thrust load)이 있으며, 특히 큰 수직하중이 걸릴 경우는 축단 강도에 주의할 필요가 있습니다. 이러한 수직하중이 모터의 축에 걸리면 회전에 의하여 반복 굽힘 하중이 되며, 최악의 경우 사용 중에 모터 축이 파손될 우려가 있는데 모터 축에 인장강도 이하의 값이 걸려도 반복 하중이 되면 파손되는 피로파괴를 의미합니다.

실제로 사용할 경우에는 부하 축 토크의 크기, 충격하중, 편심에 의한 하중, 사용빈도, 온도에 의한 영향 등을 고려해야 합니다. 축이 허용할 수 있는 값 이하로 설계하여야 하고, 가능한 모터 본체 쪽에 가깝게 설치하는 편이 수명 관점에서 유리합니다. 부득이한 경우에는 축단에 지지용 베어링을 추가적으로 설치하거나 커플링 이용하여 새로운 축을 연결하는 것이 필요합니다.

모터는 운전 중 과대한 스러스트 하중이 가해지면 베어링 수명에 영향을 주고, 또 유격 (End Play)를 남기므로 상대 물로부터 스러스트를 받지 않도록 설치해야 합니다.

6. 모터에서 시정수

시정수 (time constant)에는 전기적 시정수, 기계적 시정수, 열적 시정수 등이 있습니다. 시정수란 시스템이나 어떤 물체가 목표 위치까지 도달하는 시간을 말합니다. 어떤 시스템에 입력을 주었을 때 실시간으로 반응을 하는 것이 아니고 목표점까지는 어느 정도의 시간이 걸리는데 목표점의 63.2 %에 도달한 점을 말합니다.

전기적 시정수

정격부하가 인가된 후 정지 상태에서 갑자기 모터를 구동하면 모터는 정격 운전을 하게 되고 권선에는 정격 전류가 흐르게 됩니다. 이 정격 전류의 63.3%에 해당하는 전류가 모터에 흐르게 될 때까지 걸리는 시간을 전기적 시정수라고 합니다.

기계적 시정수

모터 축에서 부하를 제거한 후 정지한 상태에서 전류를 흐르게 하면 시간-회전속도의 특성을 얻을 수 있습니다. 정격회전수의 63.3%까지 도달했을 때 걸리는 시간을 기계적 시정수라고 합니다. 기계적 시정수가 짧으면 그만큼 제어용 모터로서 기동성이 좋다고 하는데, 이는 회전자의 관성모멘트를 줄여야 하는 것을 뜻합니다.

열적 시정수

모터가 어떤 부하를 갖고 구동하면 모터권선에는 열이 발생하게 되고 온도가 높아집니다. 이 상승 온도는 사용된 절연재에 따라 제한되는데 통상 절연계급으로 규정하고 있습니다. 정격 부하, 정격 전류, 정격 회전 속도로 연속적으로 구동할 때, 모터의 권선 온도가 상승한도의 63.3%까지 상승한 때의 시간을 열적 시정수라고 합니다.

7. 모터의 온도 상승

모터를 운전하게 되면 열이 발생합니다. 모터 내부로 흐르는 전류에 의한 동손과 철심에 생기는 와류에 의한 철손 그리고 베어링 및 브러시의 마찰에 의한 손실이 열로 발생하는 것입니다. 모터에 발생하는 열은 전도 및 대류에 의한 외부로 전달되지만 일부는 내부에 계속 축적되어 온도가 상승하게 됩니다. 온도가 상승하게 되면 열에 취약한 부분이 손상을 입게 되어 모터가 소손에 이르게 됩니다.

특히 권선부위가 가장 높게 나타나므로 권선 온도에 맞는 절연계급의 피막을 가진 권선을 사용할 필요가 있습니다. 만약 권선의 내열 등급을 초과하여 모터를 운전해야 하는 경우에는 축적되는 열을 강제적으로 냉각시키지 않으면 안됩니다.

이럴 때는 모터의 표면에 통풍혈을 내어서 공기의 대류가 잘 일어날 수 있도록 하거나 냉각용 팬을 설치하여 강제 공냉을 시켜주는 것이 필요합니다.

8-1 절연의 종류에 따른 허용최고

절연의 종류	Y 종	A종	E종	B종	F종	H종	C종
허용 최고온도	90℃	105℃	120℃	130℃	155℃	180℃	180℃초과
상당 권선		PVF	UEW	UEW	UEW	PEW	AIW
피막 코드			UEW	UEW	PEW	EIW	AI-EIW

8-2 온도 상승에 대한 보호 방법

과도한 조건에서 모터를 사용하게 되면 모터가 손상되거나 수명이 현저히 감소하게 되므로, 과도한 온도 이상에서는 모터의 운전을 중단시키는 보호장치를 추가하게 되는데 두 가지의 방법을 사

용할 수 있습니다.

8-2-1 Thermally Protected Type

Thermal Protector는 대개 Bimetal 구조로 되어 있으며, 모터 내의 회전자(rotor)에 설치되어 있습니다. 그 동작은 다음과 같은 온도 특성을 가지고 있습니다. 개방 온도는 120℃ 전후 (±5℃) 이고, 복귀 온도는 77℃ 전후 (±5℃) 입니다. 이러한 Thermal Protector를 구비하고 있는 전동기는 설정 온도 값 이하로 떨어지면 전동기가 다시 회전하므로 과열로 인한 권선의 소손을 방지할 수 있습니다. 따라서 다음과 같이 Thermal Protector가 작동하는 원인이 발생할 경우에는 전원을 재투입시켜 모터를 기동시켜야 합니다.

- 모터 회전이 구속되어 있는 경우
- 모터측 토크보다 부하 측의 토크가 연속적으로 큰 경우
- 모터의 주위온도가 높을 경우
- 전압이 높을 경우
- 전압강하가 커서 모터 출력이 저하되면서 구속되는 상태로 될 경우
- 콘덴서 단자 사이가 단락 되어 있는 경우
- 콘덴서 용량이 정격보다 클 경우
- 기동 및 정지의 빈도가 높아서 제동 장치들을 자주 사용 할 경우

보통 사용되는 것들로 바이메탈스위치나 폴리스위치가 있는데, 고 전류용으로는 바이메탈스위치를, 장수명용으로는 폴리스위치를 선택하고 있습니다.

8-2-2 Impedance Protected Type

권선의 임피던스(impedance)를 크게 하여 구속 시에도 전류의 증가를 떨어뜨리는 방법입니다. 이 방법은 모터의 특성에 영향을 미치는 것이므로, 설계 단계에서부터 고려해야 할 사항입니다.

8-3 온도 상승을 구하는 계산법은 다음과 같다.

$$\text{deg}(\Delta T) = [(R2 - R1) \times (234.5 + T1)/R1] - (T2 - T1)$$

- R1 : 온도상승 시험 전의 권선 저항
- R2 : 온도상승 시험 후의 권선 저항
- T1 : 온도상승 시험 전의 주위온도
- T2 : 온도상승 시험 후의 주위온도
- 234.5 : 동선의 온도 계수

모터를 빈번하게 기동, 정지하거나, 회전 방향을 교환하거나, 브레이크 (brake) 장치에 의해 순간 정지를 빈번하게 반복하면 모터의 온도 상승은 더욱 높아집니다. 모터의 수명은 온도가 낮을수록 유리합니다. 또한 온도 상승에 따른 권선 저항이 증가하면 모터의 통전 전류가 줄어들고, 회전수도 낮아지게 되어 힘이 떨어지는 것으로 나타납니다.

8. 모터의 전기적인 검사

모터를 조립한 후 정상적인 특성을 낼 수 있는지에 대한 전기적인 검사방법으로 통상 다음과 같이 세 가지를 검사합니다.

8-1 절연내압테스트

절연재로 분리되어 있는 도체 간에 높은 교류전압을 가함으로써 절연재의 파괴여부를 검사하는 것으로, 이때 누설을 허용하는 전류가 규정됩니다.

통상적으로 단자와 프레임 간 또는 정류자와 축 간의 절연상태를 검사합니다.

8-2 절연저항

절연물에 높은 직류 전압을 가하면 극히 작은 전류가 흐르는데 이 경우의 전압과 전류의 비를 말하는데, 테스트 회로 상에 커패시터(capacitor), 다이오드(diode) 등의 전자 부품이 연결되어 있는 경우 교류전압을 가하게 되면 부품의 손상이 초래되므로 모터 상태에서 절연 내압을 검사하지 않고, 직류 전압을 가해서 절연 저항을 검사합니다.

메가 저항기로 검사를 하며 통상 소형모터에서 500V 1MΩ 이상이면 양호한 것으로 판단합니다.

8-3 서지테스트

보통의 회전자의 권선 상태를 검사하는 방법으로, 전류가 흐르는 경로 상에 있는 슬롯내의 도체(conduct)층간, 정류자의 편(segment)간, 도체와 정류자간에 교류의 서지(surge)전압을 가함으로써 부적절한 접촉상태를 저항으로 판별하고 전류 파형으로 나타내줌으로서 양/부를 판단합니다.

9. 권선의 소손

모터 소손의 원인으로는 전기적인 원인과 기계적인 원인으로 구분되며, 전기적인 원인으로는 과부하, 결상, 구속, 층간 단락, 권선의 지락, 순간과전압의 유입 등이 있으며, 기계적인 원인으로 는 전동기 회전자가 고정자에 닿는 경우, 베어링의 마모나 윤활유의 부족으로 발생한 열의 전도에 의한 소손 등이 있습니다.

9-1. 전기적인 원인

과부하

모터에 연결되어 있는 기계에 과중한 부하가 가해져 전동기에 열이 발생시켜 그 열에 의해 권선의 절연이 파괴되어 소손됩니다.

결상

모터를 운전하기 위한 전선로에 3상 중 한 상의 결함이 생겨 단상으로 운전될 때 (연결부위나 접촉기의 접점에서 많이 발생함) 모터는 회전 토크의 부족으로 회전을 계속하지 못하고 정지하게 되며, 이 때 과도한 전류가 모터를 소손시킵니다.

층간 단락

모터 권선 중 한 상의 권선이 절연의 취약 또는 열화로 인해 같은 상의 권선이 서로 단락되어 소손됩니다.

선간 단락

모터 권선의 열화로 인한 절연이 취약하게 되어 선간 교차부분이 서로 단락을 일으켜 소손됩니다.

권선 단락

권선의 열화로 인한 또는 절연의 취약부분에서 모터의 몸체로 누설전류가 흘렀을 때 그 누설전류의 흐름이 진행되면 1선 완전단락 상태로 발전되어 모터가 소손됩니다.

순간 과전압의 유입

낙뢰와 같이 외부로부터 고전압이 권선의 내전압을 초과하여 유입되면 소손되지만 피뢰기에 의해 보호되고 있어서 극히 희박한 현상입니다.

9-2. 기계적인 원인

구 속

모터가 과중한 부하로 인해 회전하지 못하고 정지된 상태를 말하며 계속 전원이 투입되어 있을 경우, 이 때 흐르는 전류는 기동 전류가 흐르게 되며 계속 그 상태가 유지되면 발생하는 열에 의해 모터가 소손됩니다.

모터의 회전자가 고정자에 닿는 경우

모터 축의 이상으로 회전자가 고정자를 스치고 돌아갈 때 발생하는 열에 의해 모터가 소손됩니다.

축 베어링의 마모나 윤활유의 부족

모터의 축 베어링에서 발생한 열이 전도에 의해 권선까지 온도 상승을 일으켜 소손됩니다.

10. 모터의 노이즈와 대책

모터의 노이즈에는 전기적 노이즈와 기계적 노이즈가 있는데, 전기적 노이즈라 함은 전자기파 장애를 일으키는 말이고 기계적 노이즈라 함은 일반적인 소음을 말합니다.

10-1 전기적 노이즈

브러시 모터는 정류 작용 시 전자파를 생성하는데, 다른 전자기기에 장애를 유발하게 되므로 용도에 따라 특정 주파수의 강도를 규제하는 경우가 있습니다. 전자기파는 공중으로 방사되는 것과 도선을 타고 전파되는 것으로 나눌 수 있으며 각각에 맞는 차폐 장치를 갖출 필요가 있습니다.

대표적인 차폐장치로 다음과 같습니다.

배리스터

배리스터는 자체적으로 흡수할 수 있는 전력의 양을 가지고 있어서 순간적인 서지 (surge) 전류가 일정 이상이 되면 저항이 급격히 줄어들면서 자체적으로 흡수하여 열로 방출하여 전기적 노이즈를 방지합니다.

회전자의 장류자에 배리스터를 납땜으로 부착합니다.

커패시터

커패시터는 모든 발생 서지 전류를 주파수 방식으로 인식하여 모터의 표면(frame)으로

흘러서 전기적 노이즈(noise)를 방지하는 역할을 합니다.
모터의 (+)(-) 단자 간에 부착합니다.

초크코일

도선과 브러시 간에 직렬로 연결합니다.

전자파장해의 정도에 따라 한 가지를 선택하기도 하고 복합적으로 구성하기도 합니다. 또한 브러시리스모터와 같이 기계적인 정류작용이 없는 모터를 사용하는 것도 방법입니다.

10-2 기계적 노이즈

소음이라고 하는 것은 마찰이 일어날 때 발생하는 가정주파수의 진동이라고 할 수 있습니다. 진동은 주파수와 진폭을 가지고 있는데 우리가 듣기로는 음의 높기와 음의 세기로 구분할 수 있습니다. 음의 높기는 주파수에 비례하고 음의 세기는 음압에 비례합니다.

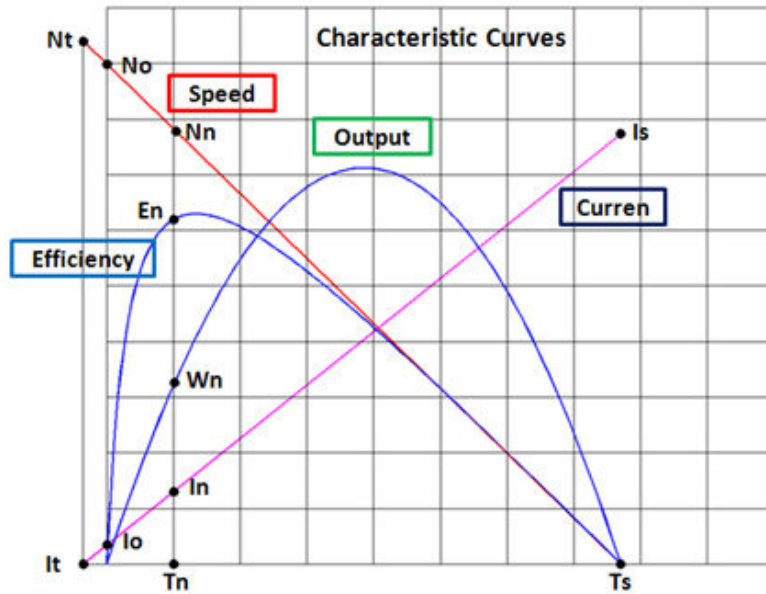
소음을 불량으로 간주하는 것은, 같은 소리라도 사람에 따라 평가하는 것이 달라지기 때문에 감성적인 측면이 강합니다. 계량화를 위해 음압으로 규제하는 경우가 대부분이지만, 높은 주파수 대역의 음은 음압 규제를 만족하더라도 사람의 귀에 거슬리는 경향이 많아서 논란의 소지가 많은 것이 현실입니다. 따라서 모터 설계자는 고주파 대역의 소음을 저주파 대역으로 끌어내리는 방법을 모색하고 설계에 반영해야 합니다.

소음이 발생하는 대표적인 것으로는 베어링 소음, 정류자와 브러시간 소음, 부정확한 고정이나 간섭에 의한 부품의 떨림, 공진, 철심의 고조파, 고속회전에 의한 바람소리 등이 있습니다.

11. 모터의 특성도 이해

11-1 특성도를 보는 방법

모터를 효율적으로 사용하기 위해서는 해당 모터의 특성을 잘 이해할 필요가 있습니다. 그 특성을 잘 나타내 주는 것이 바로 아래 그림과 같은 ‘모터특성곡선’ 이라는 것입니다. 이 그림에는 토크 증가에 따른 모터의 회전수, 전류, 출력, 효율선이 표시되어 있으며 그래프와 만나는 교점에서 좌우에 표시되어 있는 값을 읽으면 해당 토크에서의 특성이 되는 것입니다.



Vt	공급전압	Tn	정격 토크
Nt	이상적 무부하 회전수	Nn	정격 회전수
No	무부하 회전수	In	정격 전류
Io	무부하 전류	Wn	정격 출력
Ts	구속 토크 (기동 토크)	En	정격 효율
Is	구속 전류		

정격 전압을 모터에 인가하여 작동 중의 전류 값을 알게 되었다면 그림에서 분홍색의 전류 선도에서 해당 전류 값을 찾습니다. 전류선도에서 수직으로 선을 그어서 각 선도와 만나는 곳의 값을 읽으면 회전수, 출력, 효율, 토크를 알 수 있습니다.

사양서나 도면으로 제공되는 특성도는 일정한 샘플 집단의 평균값으로 작성하게 되므로 개별 모터의 실제특성과는 다소간의 차이가 있습니다.

여기서 출력은 다음 공식으로 계산합니다.

$$W=1.027*N*T \text{ [watt]} \quad N: [\text{rpm}], T: [\text{kg.cm}]$$

11-2 단위환산표

토크	길이	무게
1g.cm ≈ 0.098mNm ≈ 0.014oz.in	1mm = 0.030in	1g=0.035oz
1mNm ≈ 10.2g.cm ≈ 0.142oz.in	1in = 25.4mm	1oz=28.35g
1oz.in ≈ 7.065mNm ≈ 72.0g.cm		

12. 마그네트

12-1 마그네트의 역사와 모터의 시초

소형모터는 대부분 계자에 권선대신 영구자석을 사용하는 방식을 적용하고 있습니다. 영구자석이 자기장을 만들고, 회전자의 권선에 전류가 흐르면 플레밍의 왼손법칙에 의거 힘을 얻는 방식으로 기동특성이 우수하며 모터의 제조가 쉬운 장점이 있습니다.

서양에서는 기원전 6세기경, 동양에서는 기원전 3세기경 중국에서 흑색 철광석을 발견한 뒤, 항해용 나침반으로 사용해 오다 13세기경 네덜란드의 학자 페트로스페레그리누스가 자석의 기본적인 성질을 발견하였으며 16세기 영국의사 윌리엄 길버트가 자기적 성질을 체계적으로 실험하였습니다. 1820년경에는 인공자석을 처음 발명하였고, 19세기 중반에 패러데이가 전자유도법칙을 발견하였으며 전자기에 관련한 지식의 수준이 높아지게 되었습니다. 1831년 미국의 뉴욕주에 있는 펜필드 철공소에서 데븐폴트라는 사람이 전자석을 바탕으로 연구하여 직류모터를 만들게 된 것이 최초입니다.

12-2 마그네트의 종류와 특성

계열	종류		특성		
			잔류자속밀도 [kG]	퀴리점(℃)	특성 및 용도
페라이트	건식 등방성		2 ~ 2.4	450	자기특성이 온도변화에 민감하며 경제적인 가격이 큰 장점이다. 용도: 스피커, 소형 모터 등
	건식 이방성		3.6 ~ 3.9	460	
	습식 이방성		4.1 ~ 4.3	460	
	고무자석		~ 1.0		Ferrite분말과 NBR수지를 혼합하여 성형한 제품. 가격이 저렴하며 탄력성과 유연성을 지니고 있다. 주용도: 광고용 스티커, 문구, 교육자재
알니코			8 ~ 14	850~890	Al-Ni-Co-Fe의 합금 주조 자석으로 비교적 높은 온도에서도 감자가 거의 발생하지 않는 안정된 온도 특성을 갖고 있다. 주용도: 스피커, 마이크폰, 전화기, 소형 모터, 측정 장비 등
희토류	사마륨코발트		8 ~ 11	700 이상	비교적 높은 열에 강하며 부식에 대한 저항이 커서 표면처리 없이 사용가능하다
	네오디뮴	소결	10 ~ 14	330~340	고성능 자기 특성으로 제품의 크기 및 무게를 줄일 수 있으나 공기 중에 쉽게 부식되므로 표면처리가 필요하다. 사용 온도범위가 크지 않아 설계 시 유의해야 한다. (80℃ ~ 200℃) 주용도: 자동차용 모터, 기계/엘리베이터의 서보모터, 반도체 생산 장비의 리니어 모터, 센서 등
		본드			

1930년대 MK강이라고 하는 상업용 마그네트 합금을 만들어 내었고 1940년대에 알니코(AlNiCo) 자석을, 1969년에는 사마륨코발트(SmCo5)자석을, 1983년에는 일본과 미국에서 네오디뮴 자석이 등장하였습니다.

12-3 마그네트의 경시변화

자석은 착자 후 시간이 경과하면 자속의 변화가 발생하는데 이를 경시변화라고 하는데, 필요한 경우 미리 안정적인 특성을 가지도록 임의적인 감자를 시키기도 합니다

12-4 마그네트 관련한 용어

가우스(gauss)

단위면적당 자속의 수를 나타내는 자속밀도 (Flux density)의 단위로 [G]로 표기합니다.
 $10000[G] = 1[T] = 1 [wb/m^2]$ 이다.

자속(flux)

자속(磁束)은 일정한 면을 통과하는 자기력선의 다발, 즉 자기력선의 수를 뜻하는 말로 스칼라량이며 단위는 cgs계로 [Mx]로 표기합니다.

SI단위계로는 [Wb]로 표기하는데 $1[Wb] = 100,000,000 [Mx]$ 입니다.

따라서 $1[G] = 1$ 제곱미터를 통과하는 자속의 수가 $1[Wb]$ 또는 1 억[Mx]가 됩니다.

가우스미터는 통상 홀(hall)소자를 사용하여 자성체의 자속밀도를 측정하여 [G]값으로 나타나고, 플럭스미터는 통상 Search Coil를 사용하여 자속량을 측정하여 [Mx]값으로 나타냅니다.

보통 가우스미터를 사용하여 자석의 표면가우스를 측정하는데, 이 값은 마그네트의 고유한 잔류자속밀도[Br]와는 다르며 별도의 B-H Curve Tracer를 사용하여 측정합니다.

이에 반해 회전자에 서치코일 (search coil)을 감은 다음 프레임 (frame) 내부에서 회전 시키거나 잡아 당겨서 유기되는 전류 값을 통해 자속을 측정하는 플럭스미터의 경우에는 다음과 같은 공식을 사용하여 모터의 성능을 검토할 수 있습니다.

플럭스미터는 Core의 재질, 형상, 적층길이, 에어갭, 마그네트의 착자패턴 등이 포함되어 있는 값을 읽을 수 있기 때문에 장점이 될 수 있다.

특히 2극기에서 정격전압 V_t , 자극 수 P , 병렬 회로수 AA , 1극당 자속량 F_u [MAX], 총도체 수 Z 라고 할 때 자속량 F_u 값을 측정하면 다음 공식에서처럼 토크상수와 Free Rotation Torque가 없는 상태의 무부하회전수를 계산할 수 있습니다.

토크상수

$$K_t = 0.5 * P * Z * F_u * (1E-6) / (9.8 * 3.1416 * AA)$$

이상적무부하회전수

$$N_t = V_t / K_e = V_t * 60 * 100000000 / (\text{권선수} * \text{Flux} * \text{슬롯수} * 2 / (2 * \text{서치코일수}))$$

웨버(Wb)와 맥스웰 (Mx)

기호 Wb. 자기력선속밀도(자기유도율)가 1만 G(가우스)인 균일한 자기장에 수직인 넓이 1 제곱미터 평면을 통과하는 자기력선속이 1Wb입니다. 그 1억분의 1에 해당하는 CGS전자기단위를 1Mx(맥스웰)이라 합니다.

13. 모터의 선정 하실 때

상품이나 제품에 필요한 모터를 선정하는 방법은 다양할 수 있습니다. 친환경적인 점을 고려하여 소형, 경량, 고효율, 유해물질 배제를 우선할 수도 있고, 경제적인 가격을 우선할 수도 있습니다.

일반적으로 제조 업체에 문의하실 때에는 다음과 같은 항목을 점검해 주는 것이 도움이 됩니다.

사용 전원은 무엇입니까?

- 가정 전원 그대로
- 가정 전원을 정류하여
- 직류 파워서플라이
- 배터리
- 기타

제어 방식은 어떻게 됩니까?

- 단순 구동
- 피드백에 의한 제어

모터의 수명은 얼마정도 되어야 합니까?

- () 시간

모터의 소음에 대한 규제가 있습니까?

- 없다
- 있다. 규격을 알려 주십시오.

모터의 사용 환경은 어떻게 됩니까?

- 실내 공간
- 기기나 설비 내부의 건냉 암소
- 분진이 많은 곳
- 해양이나 해안가처럼 염분이 많은 곳
- 자동차의 엔진룸과 같이 다양한 기후에 노출되는 곳
- 기온변화가 극심한 곳
- 비닐하우스 내부처럼 고온다습한 곳
- 의료용처럼 청정이 유지되어야 하는 곳
- 기타

모터의 운전 조건은 어떻게 됩니까?

- 정격부하에서 단속운전
- 정격부하에서 연속운전
- 정격부하에서 반복운전
- 변동부하에서 운전
- 최저 전압과 최대 전압 내에서 부동운전

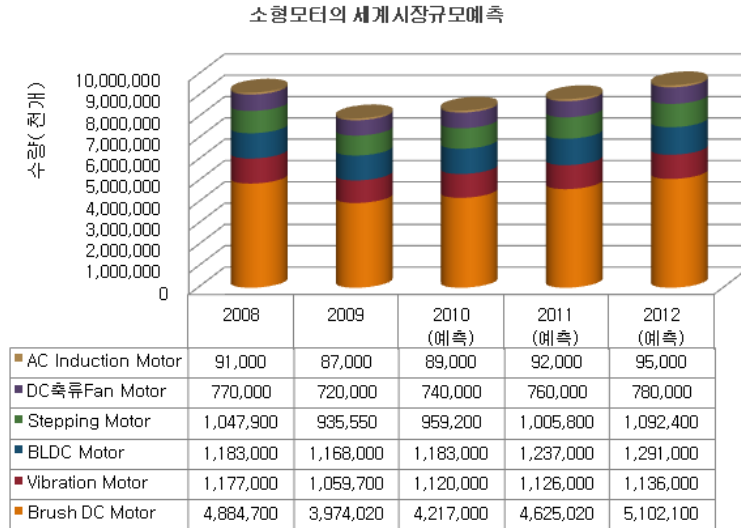
모터에 안전 SAFETY에 관련한 대책이 포함되어야 합니까?

- 전자파장해 차단 필터의 구성
- 전류 및 온도에 대한 회로보호 장치 circuit breaker
- 물, 기름, 분진 등에 대한 밀봉처리
- 추가적인 절연 및 방열대책
- 유해물질 배제

14. 세계 모터의 시장 현황

14-1 시장규모

일본의 야노경제연구소가 추계한 세계 모터 시장 규모를 보면 연간 90억개가 넘는 수량을 생산하고 있습니다.



(일) 야노경제연구소 추계 (2010.1.16)

14-2. 세계의 주요 제조 업체

세계적으로 수많은 모터 제조업체들이 있으며, 이들의 제품을 온 오프라인에서 판매를 전문으로 하는 업체들도 많이 있으므로 필요시 인터넷으로 쉽게 검색해 볼 수 있습니다. 아래 제조업체들은 일부에 불과하지만 전 세계 생산량의 대부분을 차지하고 있습니다.

- Mabuchi www.mabuchi-motor.co.jp
- Johnso Electric www.johnsonelectric.com
- Asmo www.asmo.co.jp
- Tokyo Parts www.tokyoparts.co.jp
- Tsukasa www.tsukasa-d.co.jp
- Nidec Servo www.nidec-servo.com
- Copal www.copal-electronics.com
- Dunker www.dunkermotoren.de
- Buehle www.buehlemotor.de
- Portescap www.portescap.com
- Iskra www.iskra-ae.com
- Maxon www.maxonmotor.com

[주1] 3, 6쪽의 사진, 9쪽의 그림과 사진 자료는 인터넷 상에서 가져왔습니다.

[주2] 본 자료를 허락없이 상업용으로 활용하지 마십시오.