

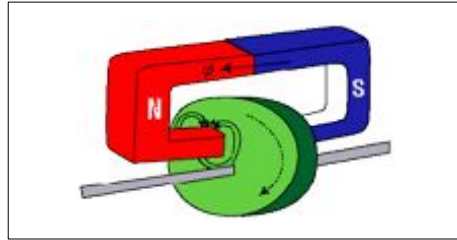
* 유도 전동기 *

유도전동기가 산업현장에서 차지하는 비중이 크다
특히 3상 유도전동기가 동력원으로 가장 많이 쓰이고 있는데,그이유는 회전원리가 간단하며
운전이 쉽기 때문이다.

* 유도전동기의 원리와구조 *

1. 아라고의 원판 회전원리

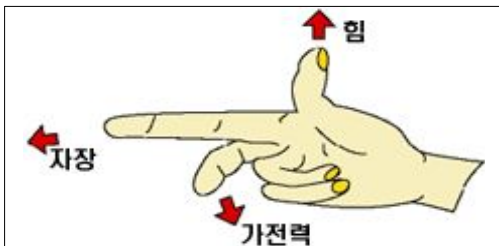
전자기이론을 통합한 물리학자 맥스웰의 회전원리



- 자기장 내에서 원판이 회전을 하면 기전력이 유도되어 맴돌이 전류가 원판에 흐르게 됩니다. 또한 원판이 정지하고 회전하여도 같은 현상이 나타나는데 이때의 전류방향은 **플레밍의 오른손법칙**에 의하여 결정됩니다.

- 자석이 회전하여 유기된 전류는 원판에서 순환하며 흐르게 됩니다.흐르는 전류는 자장과
의 전자 유도작용에 의하여 토크(회전력)가 발생되어 회전을 하게 되면,이때의 회전방향은
플레밍의 왼손법칙에 의하여 결정됩니다.

* 플레밍의 오른손법칙



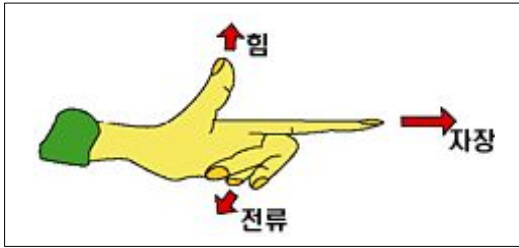
자장내에 도체가 운동을 할때 도체에 기전력이 유기됩니다. 유기되는 기전력의 방향을
알수 있는 법칙이 플레밍의 오른손 법칙입니다.



검지방향으로 자석이 이동되고 있을때 엄지쪽으로
도체가 이동하면 중지쪽으로 기전력이 유기됩니다.
플레밍의 오른손법칙은 발전기의 유기기전
력의 방향을 알아내는데 이용됩니다.

자장내의 도체에 전류가 흐르면 도체는 힘을받게
됩니다.

* 플레밍의 왼손법칙

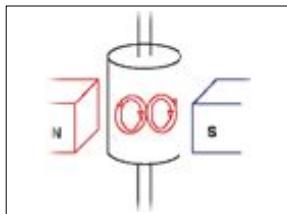


플레밍의 왼손법칙으로 힘의 방향을 알 수 있습니다.



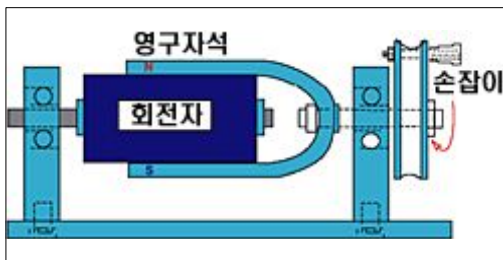
플레밍의 왼손법칙은 전동기의 회전방향을 알아내는데 이용됩니다. 검지쪽으로 자장이 이동되고 중지 쪽으로 전류가 흐르면 엄지 쪽으로 힘을 받게 됩니다.

2. 원통 도체의 회전원리

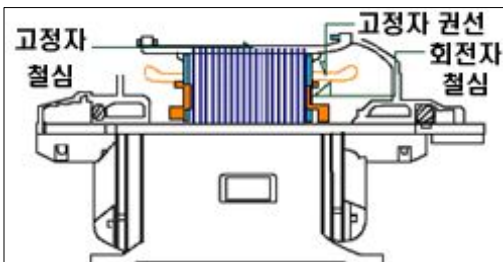


자석이 회전하면 기전력이 유기되어 전류가 흐르며, 원통 도체에 흐르는 전류는 자장내에 있으므로 전자 유도작용에 의해 토크가 발생되어 회전하게 됩니다.

유도전동기는 아라고의 원판과 원통도체의 원리를 이용한 것이며, 실제의 전동기에서는 자석을 회전시키는 대신 회전자기장을 이용합니다.



원통도체의 회전원리를 실험하기 위한 장치입니다



실제의 전동기 구조를 나타낸 것입니다.

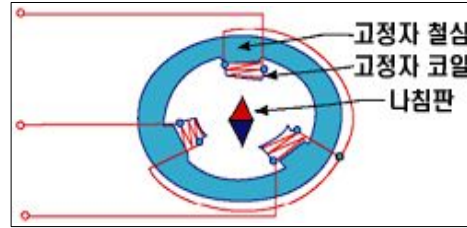
*** 회전 자기장**

자석을 움직여서 회전자기장을 만드는 방식은 매우 어렵고 비효율적이기 때문에 전기적으로 회전하는 회전자기장이 필요합니다.

1. 3상 전동기의 회전자기장

*** 3상전류**

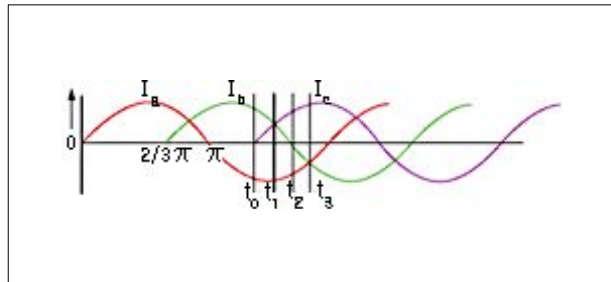
회전 자기장의 이해를 위한 3상 전류의 특성을 살펴보면 3상전류는 각 상에 $2/3\pi(\text{rad})$ 의 간격을 둔 단상전류가 흐르게 되는데 전기적으로 120° , 즉 $2/3\pi(\text{rad})$ 의 간격을 두고 흐르며, 흘러 들어오는 전류와 흘러나가는 전류의 크기는 항상 같습니다.



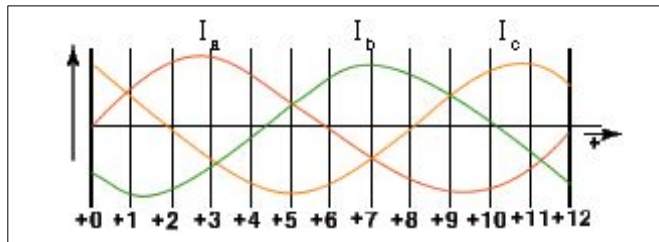
즉, 키르히 호프의 제1법칙 $\sum I = 0$ 이 성립된다. 3상 전류도 키르히 호프의 제1법칙에 의하여 항상 들어오는 전류와 나가는 전류의 대수합은 0입니다. 다시 말해서 3상의 선로에 들어오는 전류와 나가는 전류가 항상 있으며, 계속 변화하게 됩니다.

t_0 에서 i_a, i_b 의 크기는 같고, 방향은 반대인 전류가 흐르며, i_c 는 흐르지 않습니다.

t_1 에서 i_a 는 음의 방향, i_b, i_c 는 양의 방향으로 흐르며, 크기는 i_b, i_c 를 더한 값이 i_a 와 같다.

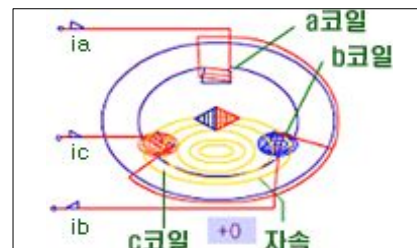


*** 전류에 의한 자기장의 변화**



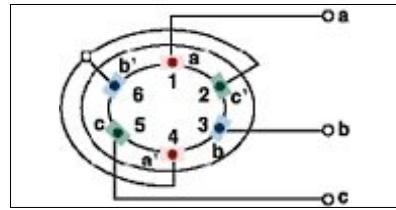
코일에 3상 전류를 흘려주며 나침반의 상태를 확인하여보면(+0에서+12까지의 나침반의 상태)

시간이 변화함에 따라 자장은 변하게 되고, 나침반이 회전하게 되며, 전류가 계속 흐르면 연속적으로 자장이 회전하게 되는데 나침반 대신 원통 도체로 된 회전자를 넣으면 계속해서 회전하는 전동기가 됩니다.

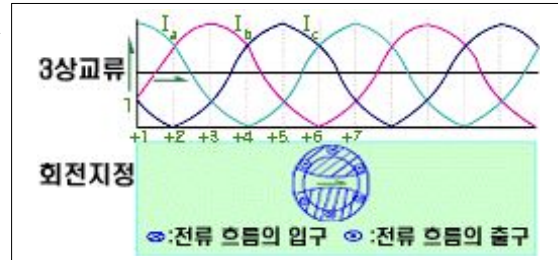


2. 2극 회전자기장

실제의 전동기 모형으로 회전자기장이 발생하는 것을그림과 같이 고정자 철심에 코일을 놓고 코일에 전류를 흘려주면 ,자기장이 발생하는데 전류 파형을 보면 다음과 같습니다.

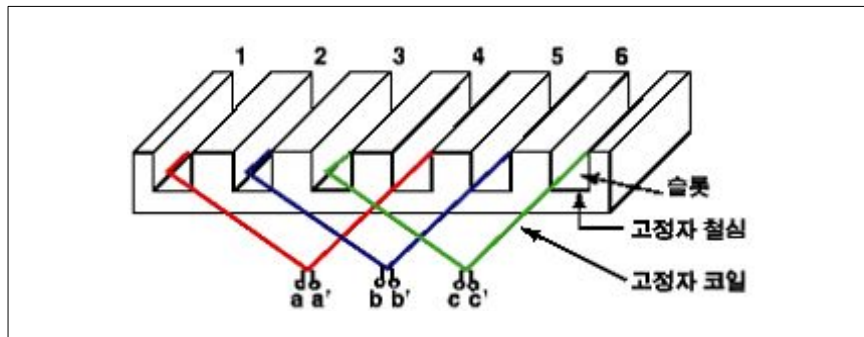


위 그림에서와 같이 ia,ib,ic에 의하여 자기장이 만들어 지는데 그 방향은 암페르 법칙에 의하여 결정이 되고,2극의 합성 자기장이 시간이 지남에 따라 다음과 같이 회전하게 됩니다.



이와같이 회전하는 합성자기장은 시간이 변화함에 따라 방향이 연속적으로 변화하게 되는데 교류의 주기를 세분해 보면 1주기 동안에 1회전을 하게 되는데 이 때 생기는 회전자기장은 2극 자석에 의한 자속과 같으므로 이것을 2극의 회전자기장이라 합니다.

권선의 배치를 사용한 유도전동기를 3상2극 유도전동기라 합니다



3. 동기 속도

고정자 철심의 홈 수를 늘리고 코일의 수를 늘리면,4극,6극,8극 또는 그이상의 회전자기장도 만들 수 있습니다.

만들어진 회전 자기자의 극 수를 P라 하면 자기장은 교류 파형의 1주기마다 2/P 회전하게 되므로 초당 회전수(rps)는 극 수를 P할 때 2f/P가 되고 1분 동안의 회전자기장의 회전수가 되면 동기속도라고 하며,식은 다음과 같습니다.

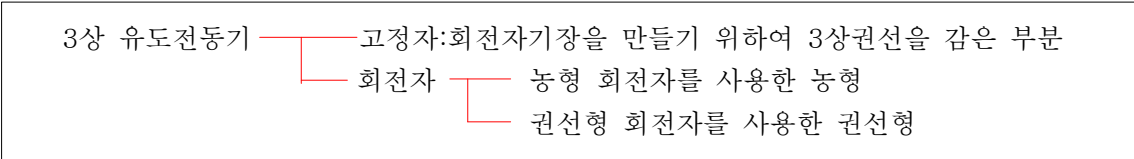
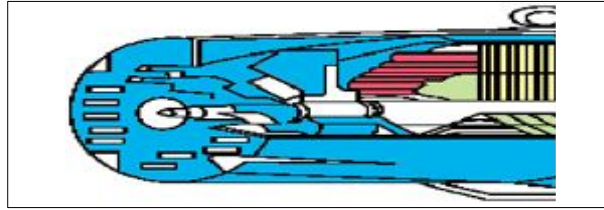
$$N_s = 2f/P \times 60 (\text{rpm}) \quad \{f: \text{주파수}, P: \text{극수}\}$$

$$\text{동기 속도 } N_s = \frac{120f}{P} (\text{rpm})$$

*** 3상 유도 전동기의구조**

1. 구조

3상 유도전동기는 회전자기장을 만드는 부분과 회전 자기장에 끌려서 이동하는 부분으로 나누어져 있습니다.



2. 고정자

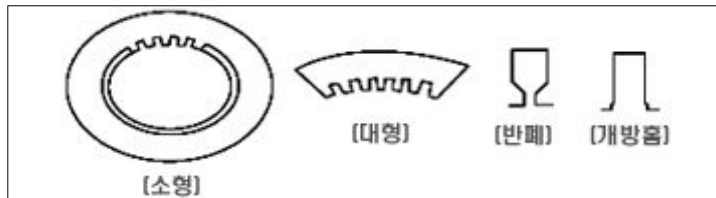
고정자는 고정자 프레임,고정자 철심,고정자 권선의 세부분으로 되어 있습니다.

*** 고정자 프레임** -기능:전동기의 외형

고정자프레임은 전동기 전체를 지탱하며,보통 주철로 만들지만 대형의 경우 중량감을 위하여 압연 강판으로 만들기도 합니다.

***고정자 철심** -기능:고정자 자속의 통로

고정자철심은 와류손을 경감하기 위해 0.35~0.5(mm)의 규소강판을 성층하여 만들고 있으며,히스테리시스손을 경감하기 위해 규소를 1~3.5(%)함유하고 있습니다.



(고정자 철심 강판)

고정자철심은 소형에서는 원형으로,대형에서는 부채형으로 찍어 이를 조립하여 원형으로 만들며,특히 대형에서는 냉각을 위하여 통풍 덕트(10mm~50mm내외)를 설치합니다.

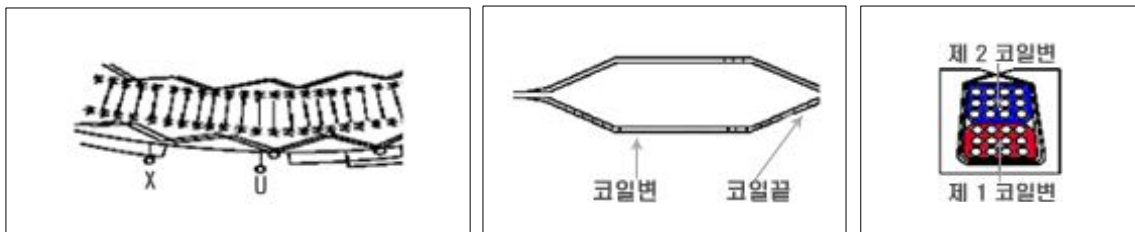
홈의 형태에 따라서는 대형에서는 개방형, 중.소형에서는 반폐홈을 많이 사용합니다.

*** 고정자 권선** -기능:고정자 자속의 발생

고정자 홈 속에 넣을 코일은 용량의크기와 저압용,고압용 등에 따라 여러 가지가 있으나 소형은 에나멜 코일을 주로사용하고,대형은 평각동선에 면이나 절연지를 감아 사용합니다.

코일이 홈 속에 들어 있는 부분을 코일변 (coil side),밖에 나와있는 부분을 코일끝(coil end)이라고 합니다. 한 개의 홈에 한 개의 코일변이 있는 것을 단층권(single iayer winding),위 아래에 2개가 있는 것을 2층권(double layer winding)이라 합니다.

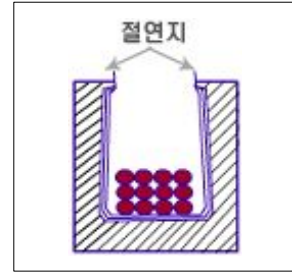
(고정자 권선의 배치)



*** 권선법에 관한 구체적 개요**

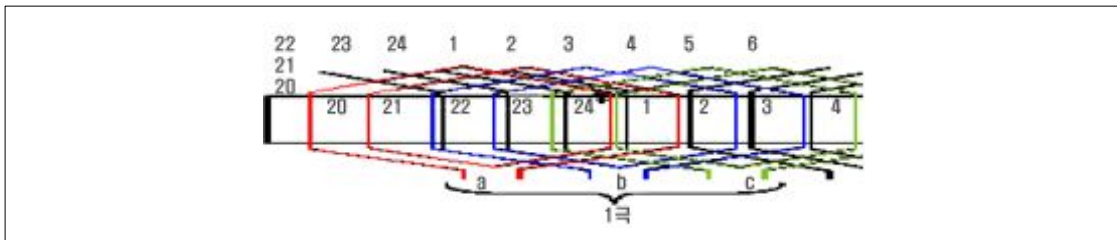
고정자 홈에는 코일을 충분히 절연하여 성형코일(formed coil)로 만들어 집어넣은 개방홈과 도체를 한 개씩 집어 넣은 반폐홈이 있습니다.

성형코일을 만들어 집어넣는 방법은 주로 고압전동기에 많이 사용하고,성형코일의 넣은 다음 썰기를 박아서 코일이 홈 속에서 움직이지 않도록 해야 합니다.



(슬롯속에서의 코일하층면)

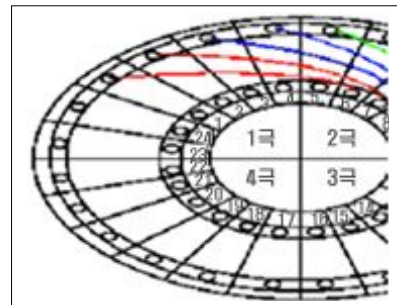
반폐홈의 경우 홈 속에 절연지를 깔고,홈의 위로부터 코일을 한 개씩 집어 넣은 다음 홈속의 절연지를 코일 위에서 접어 겹치게 하고,그위에 썰기를 박아 코일이 홈 속에서 움직이지 않도록 해야 합니다.



고정자 권선은 2층권으로 감은 3상권선이며,직렬로 연결하는 일정수의 코일군(coil group) 3개가 모여 하나의 자극을 형성합니다.

*전동기 각 상의 홈수는 모든 홈을 상수로 나누면된다.

$$\text{각 상의 홈수} = \text{전 홈수} / \text{상수}$$



*극 하나에 대한 홈수는 전 홈수를 극수로 나누면된다.

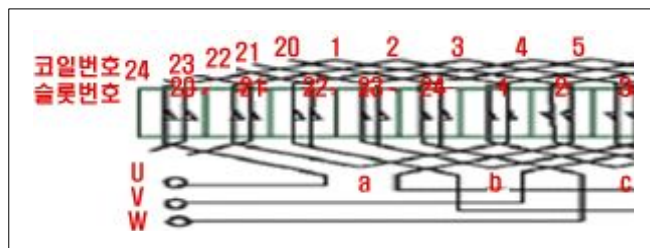
$$\text{극 하나에 대한 홈수} = \text{전 홈수} / \text{극수}$$

그러므로 1극1상으로 홈수Ssp는 다음과 같다. $S_{sp} = \text{홈 수} / \text{극수} * \text{상수}$

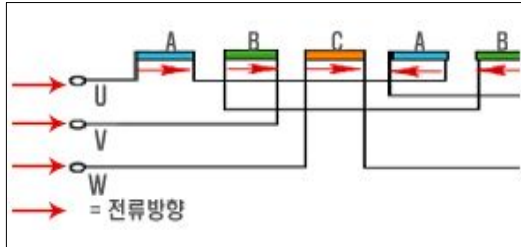
소형전동기의 경우 1극1상의 홈수 Ssp는 거의 2~3이 됩니다.

권선은 U에서 시작하여 X단자에서 끝나고,V에서 시작하여 Y에서 끝나며,W에서 시작하여 Z에서 끝남으로서 3개의 권선이 만들어집니다.

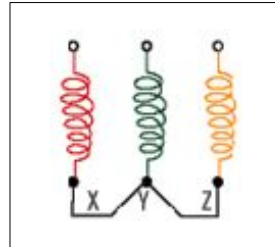
U에서 흘러 들어간 전류는 각 코일변을 흘러 X단자로 나오도록 되어 4극을 형성하게 되며,다른 2개의 권선도 이와같이 전류가 흘러서4극을 형성합니다.



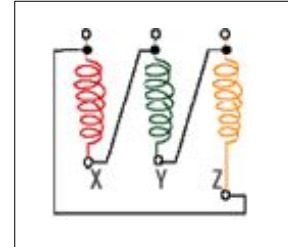
3개의 권선 끝(X,Y,Z)을 한점에서 접속하면,이 점이 중성점이 되어 Y결선이 되고,U와Z,V와 X,W와Y를 접속하면 Δ 결선이 됩니다.



(코일 결선도)



(Y결선)

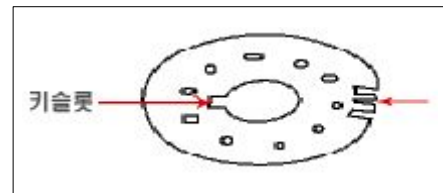


(Δ 결선)

3. 회전자

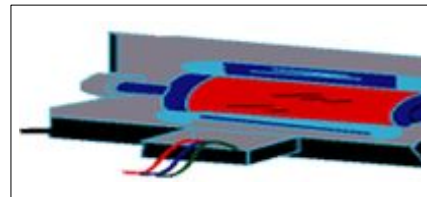
회전자는 축,철심,권선이 세부분으로 되어 있으며 전자구조에 따라 농형 회전자(squirrel cage rotor)와 권선형 회전자(wound type rotor)가 있습니다.

회전자 철심(rotor core)은 고정자와같이 규소강판을 성층하여 만든 것으로 소형 전동기의 경우 등근모양으로 돌레에 홈을 파고,가운데의 큰구멍을 축에 직접 끼우고 포개어 쥘 것입니다.



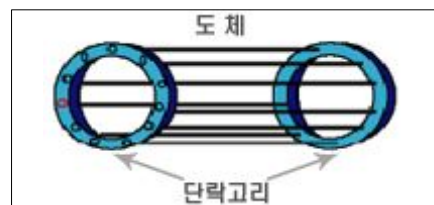
* 농형 회전자

농형 회전자는 철심의 홈을 원형또는 사각형 모양의 반폐홈으로 만들고,이 속에 같은 형의단면을 가진 구리 막대를 넣어서 양 끝을 구리로 만든 단락고리(end ring)에 붙여 전기적으로 접속합니다.



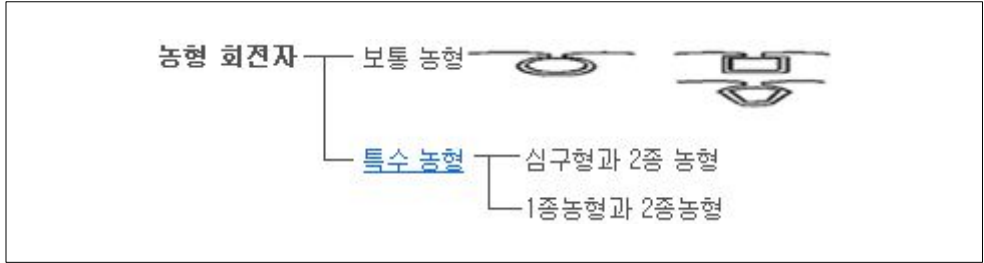
***제작:** 소형에서는 철심이 홈 속에 알미늄을 주입하면서 양쪽에서 단락하고, 통풍날개까지도 같이 제작합니다.

***효과:** 농형회전자는 회전자의 홈이 축 방향에 평행하지 않고 조금씩 비뚤어져 있는 홈(skewed slot)을 가지고 있으며 소음발생을 억제하는 효과가 있습니다.



***전류:** 단락 고리에 의하여 자체 순환되어 전동기가 기동되는 순간에는 변압기의2차가 단락된것과 같은 역할을 하므로 기동 전류가 많이 흐르게 됩니다.

*** 농형 유도전동기의 분류**



*** 특수농형:** 기동 전류를 제한하고 기동토크를 증대하기 위하여 회전자를 특수하게 만든 것을 특수농형이라고 합니다. 특수 농형중 기동토크가 100%이상인 것을 1중 농형이라고 하며, 150% 이상인 것을 2중농형이라고 합니다.

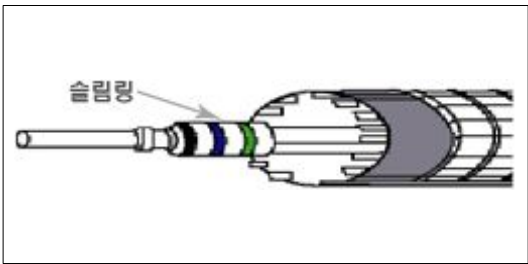
*** 장점 :** 회전자의구조가 간단하고 ,튼튼하며, 운전중의 성능이 좋습니다.

*** 단점 :** 기동할 때 매우 큰기동전류가 흐르기 때문에 타기 쉽고 공급전원에 나쁜 영향을 끼칩니다.

*** 권선형 회전자**

권선형 회전자는 회전자 철심의 홈 속에 구리도체를 넣어서 고정자 권선과 같이 3상결선을 한 것입니다.

권선형 회전자의 권선은 소형일 경우에는 고정자 권선에서와 같이 2층권으로 감지만 , 큰 전류가 흐르는 대형일 경우에는 막대 모양의 평각구리선을 홈 속에 끼우고 그양 끝을 구부려 3상접속을 하고 납땀을 합니다.



*** 장점 :** 2차전류를 외부로 인출하고, 2차 저항을 변화시켜 속도와 토크를 간단히 변화시킬 수 있습니다.

*** 단점 :** 회전자의 구조가 복잡하고 슬립링과 브러시를 통하여 기동 저항기에 접속하기 때문에 농형유도전동기에 비하여 구조가 복잡합니다.

*** 권선형 유도전동기의 기동방향**

권선형 유도전동기는 2차 저항의 크기를 조정하여 기동토크를 크게하고 기동 전류도 제한할 수가 있습니다.

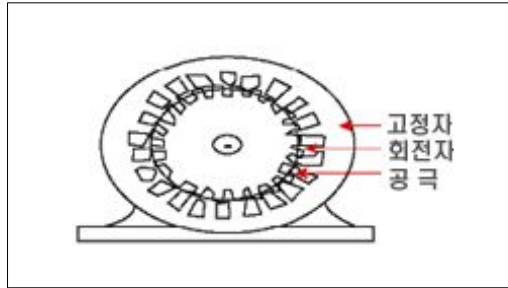


저항 최대의 위치에서 기동하여 속도가 상승함에 따라서 저항을 점차 줄여 최후에는 단락을 하여 운전을 합니다. 기동이 끝나면 농형 회전자와 같은 원리로 운전이 됩니다.

4. 공극

유도전동기의 고정자와 회전자 사이에는 약간의 공극(air gap)이 있습니다.

고정자 권선의 기자력에 의하여 생긴 회전자기장의 자기 회로는 매 극마다 이 공극을 2회씩 거쳐 하나의 자기적 폐회로를 구성하며,공극이 넓으면 기계적으로 안전하지만,전기적으로는 공극의 자기저항은 철심에 비해 매우 크므로 여자 전류가 커지고 전동기의 역률이 현저하게 떨어집니다.



공극이 지나치게 적으면 기계적으로 약간의 불평형이 생겨도 진동과 소음의 원인이 되고, 전기적으로 누설 리액턴스가 증가하여 전동기의 순간 최대 출력이 감소하고 철손이 증가합니다.

유도전동기의 용량에 따라서 적당한 공극이 필요하며,공극의 크기는 0.3~2.5(mm)정도로 직류기의 3~8(mm)에 비하여 매우 적습니다.

* 유도전동기의 이론 *

1.슬립

대칭 3권선이 있는 전동기에 주파수가 f인 3상 교류를 흘리면 동기속도 N_s 로 회전하는 회전자계가 생깁니다.그런데 전동기의 실제 회전속도 N 은 N_s 보다 느리게 돌아야만 자속(ϕ)을 끊게 되므로 지전력을 유기하고 회전자에 전류가 통해서 이 전류와 자계의 자속 사이에 토크(Torque)가 생기기 때문입니다.

동기속도 N_s 와 회전자 속도 N 의 차이와 동기속도 N_s 와의 비를 의미합니다.

$$\text{슬립} S = \frac{\text{동기속도} - \text{회전자속도}}{\text{동기속도}} = \frac{N_s - N}{N_s}$$

- 슬립은 유도전동기의 회전속도를 나타내는 한 방법이 됩니다.
- S가 커지면 회전자 속도 감소하고 S가 작아지면 회전자 속도 증가합니다.

슬립	회전수
감소	증가
증가	감소
1	정지
0	동기속도

슬립의 범위	용도
$0 < S < 1$	유도 전동기
$0 > S$	유도 발전기
$S < 1$	유도 제동기

- 전동기의 회전자가 정지해 있을때 $S=1$, 동기속도로 회전한다면 $S=0$ 가 됩니다.
- 슬립은 (%)를 이용하여 나타내기도 하는데, 대체로 전부하에서 소형전동기의 경우에 5~10(%) 정도가 되고, 중형 및 대형전동기의 경우에는 2.5~5(%)가 됩니다.

2. 회전수

회전 자속이 회전자 도체를 통과함으로써 회전자 도체에는 유도기전력에 비례하는 토크가 발생하여 회전자는 회전자기장과 같은 방향으로 회전하기 시작합니다.

회전자의 속도가 점차 증가하여 동기속도 $N_s(\text{rpm})$ 에 가까워지면 회전자기장과 회전자 속도의 차는 감소하고, 자속이 도체를 끊는 횟수도 줄어들며, 그 결과로 회전자의 도체에 흐르는 전류도 줄어들고 회전자의 발생 토크도 감소하여 이것이 부하토크와 평형을 유지하는 속도로 회전을 계속하게 되는데 이것을 **회전수**(rpm)라고 합니다.

$$\text{회전수 } N = (1 - S)N_s (\text{rpm}) = \frac{(1 - S)120f (\text{rpm})}{P}$$

* 유도 기전력

1. 전동기가 정지하고 있는 경우

3상 유도전동기에서 고정자 권선을 1차권선, 회전자 권선을 2차권선이라고 하면, 1차권선과 2차권선에 기전력이 유도되는 것은 변압기에서의 작용과 같습니다. 변압기에서는 1차권선에 흐르는 전류에 의하여 생긴 교번 자속이 2차권선과 쇄교하고 전자유도 작용으로 2차권선에 전압이 유도됩니다.

1차권선에 흐르는 전류에 의하여 생긴 회전 자속은 2차권선에 전압이 유도됩니다.

그러나 변압기의 경우에는 2차유도기전력이 권수비 $\frac{N_2}{N_1}$ 에 의해 정해지지만, 유도전동기의 경우에는 슬립 S 에 의해서 정해집니다.

- * N_1 : 1차 권선에서 1상의 직렬권선 횟수
- * Φ : 평균 자속(Wb)
- * f_1 : 1차주파수(Hz)

1차 권선의 1상에 유도되는 기전력의 실효값 $E_1(V)$ 은 다음과 같습니다.

$$1/\sqrt{2}K_{w1}wN_1\Phi[V]=4.44K_{w1}f_1N_1\Phi[V](w= 2\pi f)(K_{w1}:1차권선계수)$$

회전자가 정지하고 있을 때에는 1차권선용 쇠교하는 회전 자장이 2차 권선도 동일한 속도로 쇠교하기 때문에 2차 권선의 1상에 유도되는 기전력의 실효값 $E_2(V)$ 는 다음과 같습니다.

$$E_2=4.44K_{w2}N_2\Phi(V)=4.44K_{w2}f_2N_2\Phi(V)$$

여기서 K_{w2} 는 2차권선 계수이고 N_2 는 2차권선의 1상의 직렬권선 횟수입니다.

f_2 는 2차 권선에 유도되는 기전력의 주파수이며 이 경우에는 슬립 $S=1$ 이므로

$f_2=f_1$ 이 됩니다.

회전자가 $N(\text{rpm})$ 의 속도로 회전하고 있는 경우에는 동기속도와 회전자 속도와의 차(상대속도)는 다음과 같습니다.

$$N_s - N = SN_s \quad (S:\text{슬립})$$

상대속도는 회전자가 정지하고 동기속도 N_s 의 S 배가 되므로 2차권선에 유도되는 기전력의 주파수 $f_2(\text{Hz})$ 와 실효값 $E_{2s}(V)$ 는 회전자가 정지하고 있을 때에 비해 S 배가 되고 다음과 같이 나타내어 집니다.

- * $f_2 = sf_1(\text{Hz})$
- * sf_1 : 슬립 주파수
- * $E_{2s} = sE_2(V)$
- * E_{2s} : 슬립주파수 전압

* 유도전동기의 전류

1. 2차 전류

유도전동기가 회전할 때, 전동기의 회전자 도체와 고정자 권선에는 각각 전류가 흐르게 되고, 변압기의 1차 및 2차 회로와 비슷한 모양의 회로를 구성하게 된다.

회전자가 슬립 s 로 회전하고 있을 때 2차 권선의 1상에는 $E_{2s} = sE_2(V)$ 의 기전력이 유도되고 $f_2 = sf_1(\text{Hz})$ 의 주파수가 만들어 집니다.

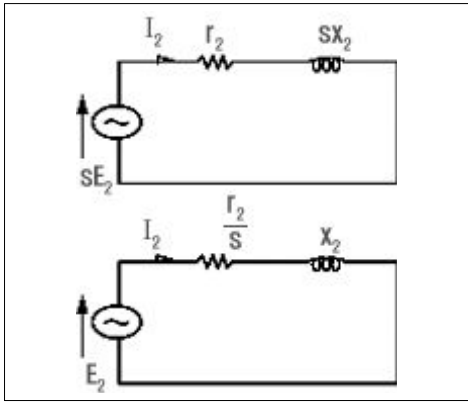
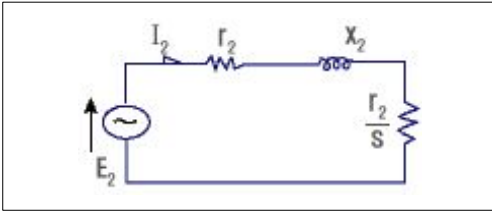
2차권선 1상의 리액턴스를 $r_2(\Omega)$, 회전자가 정지하고있을 때 ($s = 1$)의 2차권선 1상의 리액턴스를 $X_2(\Omega)$ 이라고 하면, 회전자가 슬립 s 로 운전하고 있을 때 리액턴스는 $X_{2s} = sX_2(\Omega)$ 이 되며, 슬립 s 로 회전하고 있을 때의 2차전류 $I_2(A)$ 는 다음과 같이 나타냅니다.

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{(r_2)^2 + (sX_2)^2}} [V]$$

분모와 분자에 s를 곱하여 식을 정리하면 다음과 같습니다.

$$I_g = \frac{E_g}{\sqrt{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + (X_2)^2}} [A]$$

그림은 전동기가 슬립s로 회전하고 있을 때의 2차쪽의 유도기전력과 임피던스를 나타내고 있습니다.

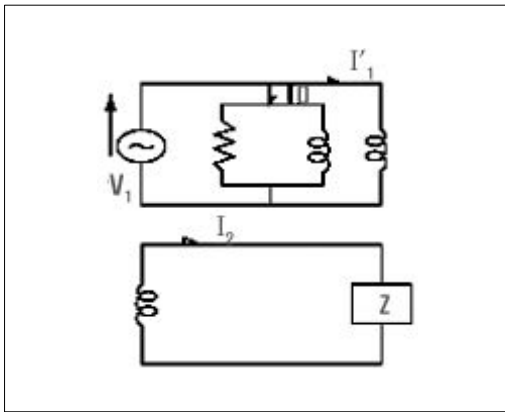


좌측 그림은 전동기의 회전자 정지하고 있을 때의 전압 E2를 기준으로 한 등가임피던스 회로이며, 이 그림은 1차와 2차가 같은 주파수로 되어 있는 단상변압기에 저항 값 $R = (r_2/s) - r_2 = (1-s)/s r_2 (\Omega)$ 부하저항을 연결한 것과 같은 회로로 생각할 수 있습니다.

2. 1차 전류

유도전동기의 고정자 권선(1차권선)에 3상교류를 가해주면 고정자권선에는 전류가 흐르고 회전자기장이 만들어진다. 회전자기장을 만들어 주는 전류를 **여자전류(exciting current)**라고 한다.

전동기가 회전하게 되면 회전자 도체에는 2차전류 I2가 흐르고, 이에 따라 기전력을 상쇄하기 위하여 1차권선(고정자 권선)에는 1차 부하전류 I1가 더 흐르게 되며, 관계식으로 나타나게 되면 다음과 같습니다.



(등가 변압기 회로)

$$Kw_1N_1I'1=Kw_2N_2I'2$$

$$I'1 = \left(\frac{Kw_2N_2}{Kw_1N_1} \right) I_2 = \left(\frac{1}{a} \right) I_2(A)$$

$$\frac{Kw_2N_2}{Kw_1N_1}$$

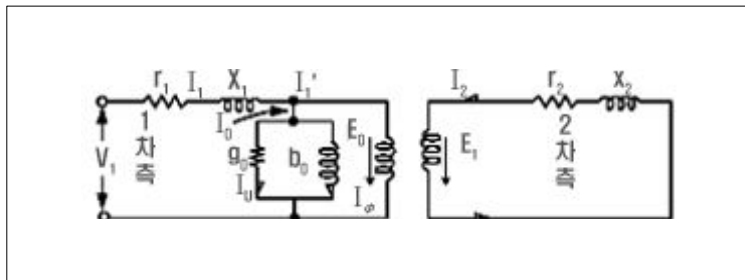
여기서 $a = \frac{Kw_1N_1}{Kw_2N_2}$ 는 유도전동기의 권수비라 합니다. 또 1차전류 I_1 은 여자전류 I_0 와 1차부하전류 $I'1$ 의 벡터 합으로 다음과 같이 나타냅니다.

$$I_1 = I_0 + I'1(A)$$

*** 유도전동기의 등가회로**

등가회로란 기본 성질이 변하지 않는 변형된 회로를 의미하며, 3상 유도 전동기의 등가회로를 이용하면, 전류, 전력 및 효율등을 쉽게 구할 수 있습니다.

1. 정지중인 회로



(정지해 있는 유도전동기 회로)

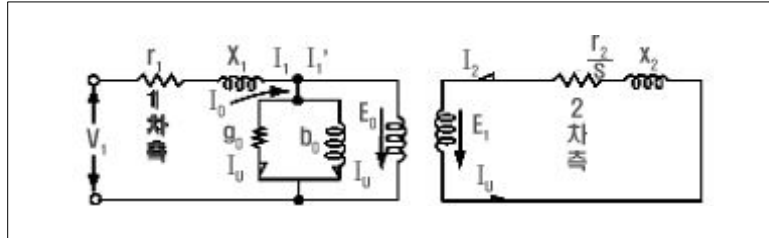
정지해 있는 유도 전동기의 회로는 변압기의 등가회로와 같이 나타낼 수 있습니다.

정지 중에는 $s=1$ 이 되고, 회전자 도체에의 2차전류가 I_2 가 흐르게 되는데 그 크기는 다음과 같습니다.

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{r_2^2 + X_2^2}} [V]$$

1차 쪽에는 2차전류 I_2 에 의해 $I_1 = \frac{I_2}{a}$ 가 흐르고, 여자전류 I_0 와 벡터적으로 합한 1차 전류 $I_1 = I_1' + I_0$ 가 흐르게 됩니다.

2. 운전중인 회로



(운전중인 유도전동기 회로)

슬립 s 로 운전 중에 있는 유도전동기의 회로는 그림과 같이 나타낸다. 2차쪽에 흐르는 2차전류 I_2 (A)는 다음과 같습니다.

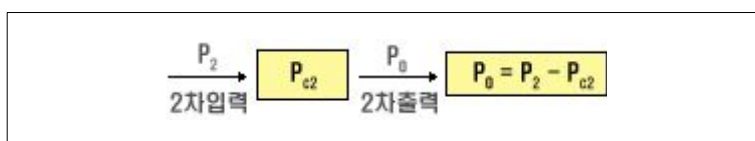
$$I_g = \frac{sE_g}{\sqrt{r_g^2 + (sX_g)^2}} = \frac{sE_g}{\sqrt{(r_g/s)^2 + X_g^2}} \text{ [A]}$$

2차 쪽의 입력을 P_2 (W), 2차 쪽의 구리 손을 P_{02} (W), 2차 출력을 P_0 (W)이라고 하면, P_2, P_0, P_0 는 다음과 같이 나타내어집니다.

$$\begin{aligned} P_0 &= P_2 - P_{02} \text{ (W)} \\ &= P_2 - r_2 I_2^2 \text{ (W)} \\ &= \frac{r_2}{s} I_2^2 - r_2 I_2^2 \\ &= \frac{1-s}{s} r_2 I_2^2 \\ &= R I_2^2 \end{aligned}$$

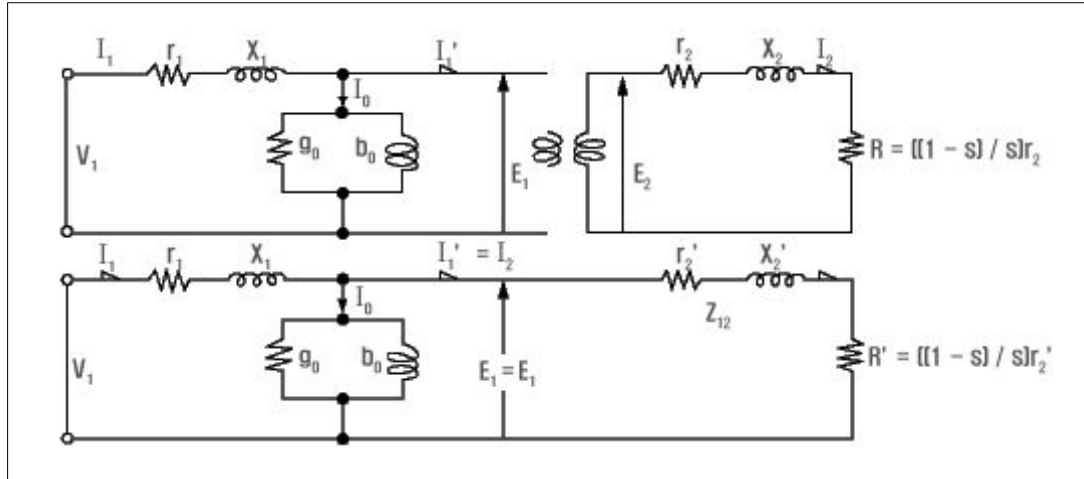
P_0 는 2차 쪽의 입력을 P_2 에서 2차 구리 손 P_{02} 를 뺀 값이 되면, 저항 $R = \frac{1-s}{s} r_2$

에서 소비되는 줄열로 나타나 있으나, 실제로는 이 만큼의 에너지가 기계적 동력으로서 소비되는 것을 뜻합니다. 즉, R 은 부하를 대표하는 저항이라고 합니다.



3. 등가회로

유도전동기의 회로는 1차측과 2차측이 분리되어, 회로를 이해하기가 어렵습니다. 유도전동기 회로의 기본성질이 변화하지 않도록 하여, 2차 쪽의 모든 양을 1차측으로 변화시킨 회로를 유도전동기의 등가회로라고 하며, 그림과 같이 나타냅니다.



2차측을 1차측으로 환산한 전압 $E_{12}(V)$ 는 다음과 같습니다.

$$E_{12} = E_1 = aE_2(V)$$

(여기서 a 는 유도전동기의 권수비입니다.)

2차측을 1차측으로 환산한 전류 $I_{12}(A)$ 는 다음과 같습니다.

$$I_{12} = I_1 = \frac{I_2}{a}(A)$$

2차 쪽을 1차측으로 환산한 임피던스 $Z_{12}(\Omega)$ 는 다음과 같다.

$$Z_{12} = \frac{E_{12}}{I_{12}} = a^2 Z_{12}(\Omega)$$

등가회로의 정수는 다음과 같습니다.

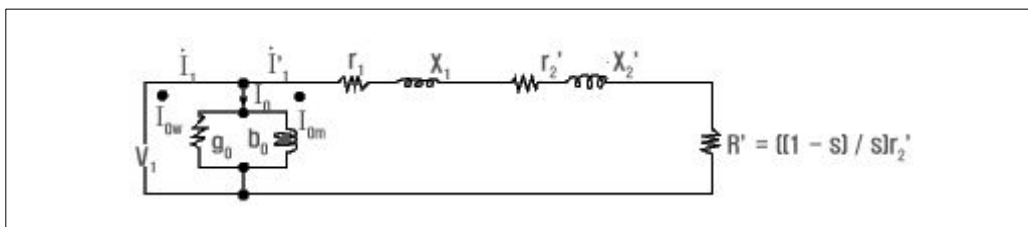
$$* r_2' = a^2 r_2$$

$$* X_2' = a^2 X_2$$

$$* R' = a^2 R$$

r_2', X_2', R 는 2차권선의 저항, 누설 리액턴스 부하저항(출력)을 1차측으로 환산한 값입니다.

4. 간이 등가회로



$$\frac{r_2' + \frac{1-s}{s} \cdot r_2'}{s} = \frac{1}{s} \frac{r_2'}{s}$$

유도전동기의 등가회로에서 여자전류 I₀는 1차전류, I₁에 비하여 매우 작기 때문에 여자임피던스를 단자 쪽으로 옮긴 간이 등가회로를 만들 수 있으며, 간이 등가회로를 이용하여 유도전동기의 전류, 전력 및 효율 등을 계산하여 다음과 같습니다.

$$1차부하전류 I_1' = \frac{V_1}{\sqrt{(r_1 + \frac{r_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2}}$$

* 여자전류 I₀ = I_{ow} + I_{om}(A)

* 여자 콘덕턴스 g_o = $\frac{I_{ow}}{V_1} = \frac{\text{철손}}{V_1^2}$ (v)

* 여자 서셉턴스 b₀ = $\frac{I_{om}}{V_1} = \frac{\text{무효전력}}{V_1^2}$ (v)

* $P = \frac{V^2}{R}$ ----- $R = \frac{V^2}{P}$, $g = \frac{P}{V^2}$

* 1차전류 I₁ = I₀ + I₁'(A)

* 철손 P₁ = V₁ · I_{ow} = V₁² g_o(W)

* 1차 구리손 P_{c1} = (I₁')² r₁ (W)

* 1차 입력 P₁ = P₁ + P_{c1} + P_{c2} + P_o = V₁ I₁ cosθ₁(W)

여기서 θ₁은 V₁ 과 I₁ 의 위상각입니다.

* 2차 구리손 P_{c2} = (I₁')² r₂' (W)

* 2차 출력 P_o = (I₁')² R' = (I₁')² · $\frac{1-s}{s}$ r₂'(W)

* 2차 입력 P₂ = P_{c2} + P_o = (I₁')² r₂' + (I₁')² · $\frac{1-s}{s}$ r₂' = (I₁')² r₂'

$$= \frac{V_1^2 \cdot r_2'}{s \cdot ((r_1 + r_2')^2 + (X_1 + X_2')^2)}$$

* 2차 입력:2차 동손 :2차 출력 = P₂ :sP₂:(1-S)P₂ = 1:S:(1-S)

* 2차효율 $\frac{P_o}{P_2} = \frac{(1-S)P_2}{P_2} \times 100 = (1-S) \times 100(\%)$

5. 벡터도

회전 자속 ϕ 에 의하여 1차권선에서는 90° 위상이 뒤진 유기전력(역기전력) E_1 이 유기되고 2차권선에는 sE_2 되는 기전력이 유기됩니다.

2차 전압에 의하여 2차 회로에는 전류 I_2 가 흐르는데 이 전류의 크기는 $I_2 = \frac{sE_2}{r_2 + sX_2}$

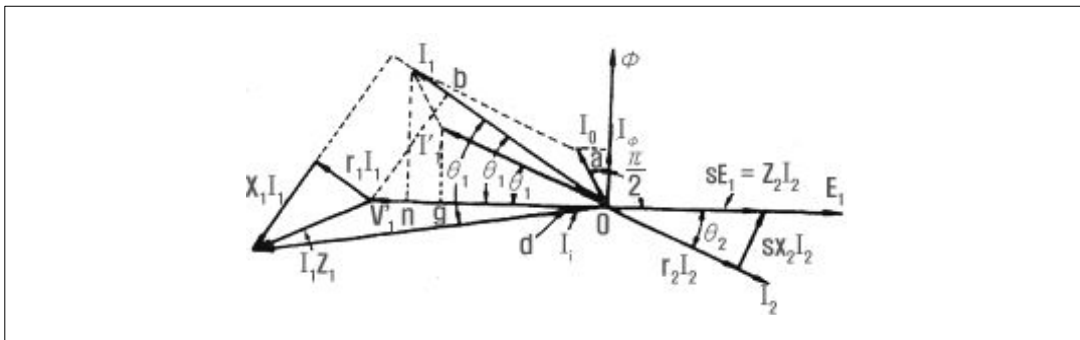
전압과의 상차각 $\theta_2 = \tan^{-1} \frac{sX_2}{r_2}$

2차전류 I_2 가 자력을 상쇄시키는 1차전류는 $I'_1 = -1/a I_2$ 와 같이 I_2 와 방향이 반대인 I'_1 입니다.

$$I_1 = I'_1 + I_0$$

만일, 1차 권선에 저항과 누설리액턴스가 없다면 1차 난자에 가하지 않으면 안될 전압은 1차 권선의 유기전력과 평형되는 전압 $E_1 = -E_1$ 이지만 저항 r_1 과 이지만 저항과 r 과 리액턴스 x_1 이 있는 경우에는 1차에 $V_1 = E_1 + I_1 r_1 + I_1 x_1$ 만큼의 전압을 가해야 합니다.

*벡터도 그리는 방법



- (1) 기준 벡터로서 E_1 을 그립니다.
- (2) E_1 보다 $\pi/2$ 앞서게 ϕ 를 그립니다.
- (3) $V'_1 (= -E_1)$ 를 ϕ 보다 $\pi/2$ 앞서게 그립니다.
- (4) I_0 를 ϕ 보다 철손각 α 만큼 앞서게 그립니다.
- (5) sE_2 을 E_1 과 같은 방향으로 그립니다.
- (6) sE_2 보다 $\theta = \tan^{-1} \frac{sX_2}{r_2}$ 만큼 늦게 I_2 를 그립니다.
- (7) I_2 와 반대 방향으로 I'_1 를 그립니다.

그런데 P'2는 고정자에 환산한 1상의 회전자 입력이므로 고정자와 회전자 상수들 m1,m2.회전자 전류전압을 표시한 1상의 입력

$$P''_2 \text{의 식 } P''_2 = m_1/m_1 \cdot P'_2 = m_1/m_2 E_1 I_1' \cos \theta_2$$

$$= m_1/m_2 a E_2 \cdot (m_2/m_1 \cdot 1/a I_2) \cos \theta_2$$

$$= E_2 I_2 \cos \theta_2 \text{입니다.}$$

따라서 회전자 전입력 P2는 다음과 같습니다.

$$P_2 = m_2 P''_2 = m_2 E_2 I_2 \cos \theta_2$$

다음 1상의 2차동선 P'c2는 P'c2 = I2²r2 = sE2I2cosθ2입니다.

그러므로 1상의 회전자출력P'는 P' = P''2 - P'c2 = (1-s)E2I2cosθ2 = s(1-s)P''2

따라서, 회전자 전체의 출력P는 P = mP' = (1-s)mP''2 = (1-s)P2

또 2차동손 Pc2 = m2sE2I2cosθ2 = sP2

이들 관계식으로부터 다음의 관계가 있음을 알 수 있습니다.

$s = \frac{P_{c2}(\text{2차동손})}{P_2(\text{2차입력})} \quad P_{c2} : P : P_2 = s : (1-s) : 1$

3. 동기와트

기계적 출력Po(W)는

$$P_0 = \omega T = 2\pi n T(W)$$

$$T = \frac{P_0}{2\pi n} = \frac{60}{2\pi} \frac{P_0}{N} (N \cdot m)$$

N=(1-s)Ns P0=(1-s)P2 식을 대입하면

$$T = \frac{60}{2\pi} \frac{P_2}{N_s} = 2\pi \frac{60}{2\pi} P_0 = \frac{P_2}{W_s} (N \cdot m)$$

이식에서 2차 입력 P2(W)는 전동기가 이 토크T(N·m)를 동기속도 Ns(rpm)하에서 발생하는 것으로 가정한 경우의 출력과 같습니다. 따라서, 2차 입력P는 유도 전동기의 토크 대소를 표시하는 척도로서 동기와트로 표시한 **토크**라 합니다.

즉,

$T' = P_2 = T W_s = 2\pi \frac{N_s \times T(W)}{60}$
--

4. 손실 및 효율

* 손실

- 1) 고정손: 철손, 베어링마찰손, 브러시마찰손, 풍손
- 2) 직접부하손: 1차 권선의 저항손, 2차회로의 저항손, 브러시 전기손
- 3) 효유부하손: 1)과 2)를 제외한 측정이 곤란한 손실

* 효율

효율 η 는 다음 식과 같다.

$$\eta = \frac{\text{출력}}{\text{입력}} \times 100 = \frac{\text{입력} - \text{손실}}{\text{입력}} \times 100(\%)$$

2차효율: 2차 입력 P_2 와 P_0 의 비를 2차 효율(secondary efficiency)이라 하면

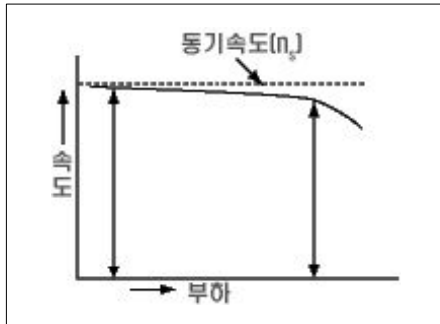
$$\eta = \frac{P_0}{P_2} \times 100 = \frac{(1-s)P_2}{P_2} \times 100 = (1-s) \times 100(\%)$$

$$= \frac{N}{N_s} \times 100(\%)$$

*** 유도전동기의 특성 ***

1. 속도특성

속도-토크 곡선을 통하여 기동 토크는 부하 토크보다 커야 회전속도가 증가하는 원리를 설명하겠습니다.

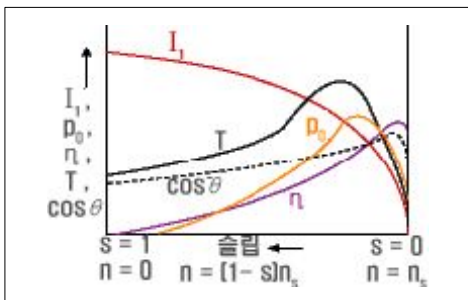


(유도전동기의 부하 특성곡선)

3상유도전동기는 그림과 같이 무부하로 운전할 때에 비하여 부하를 증가시켜 줌에 따라 회전속도가 조금씩 떨어집니다.

그러나 3상 유도전동기는 다른 전동기에 비해 무부하 속도와 정격 속도의 차가 매우 적어서 직류분권 전동기와 같은 정속도(constant speed)특성을 가지고 있습니다.

3상 유도전동기 이론에서 유도전동기는 슬립 s 가 매우 중요하다는 것을 알 수 있었습니다. 즉 1차전류 I_1 , 2차전력 P_0 , 역률 $\cos\theta$, 효율 η 및 토크 T 등은 모두 슬립 S 의 함수로 표시됩니다.



1차 전압을 일정하게 유지하고 슬립 또는 속도에 의하여 이들의 양이 어떻게 변화하는가를 나타내는 곡선을 속도특성곡선(speed characteristic curve)이라고 합니다.

전동기는 토크에 의하여 회전하게 되므로 토크 $T(N \cdot m)$ 는 대단히 중요한 특성 중의 하나입니다. 전동기나 기관과 같은 원동기에서의 기계적 출력(2차 출력)은 원동기가 발생하는 토크 T 와 회전각 속도 W 를 곱한 값으로 나타냅니다.

$$P_0 = w \cdot T(W)$$

2. 토크특성

전동기는 토크에 의하여 회전하게 되므로 토크 $T(Nm)$ 는 대단히 중요한 특성중의 하나입니다. 전동기나 기관과 같은 원동기에서의 기계적 출력(2차 출력)은 원동기가 발생하는 토크 T 와 회전각 속도 w 를 곱한 값으로 나타냅니다.

$$P_0 = w \cdot T(W)$$

회전각 속도 w 를 회전수 n 으로 나타낸식 $P_0 = 2\pi N/60 T(W)$ ($w = 2\pi N/60$)을 T 에 대해서 나타낸면 다음과 같습니다.

$$T = 60/2\pi \cdot P_0/N \quad (N \cdot m)$$

이 식에 $P_0 = (1-s)P_2, N = (1-s)N_s$ 의 관계식을 대입하면

$$P_2 = \frac{2\pi N_s}{60} T(W)$$

2차 입력 P 를 동기와트(synchronous watt)라 합니다. 또한 토크 T 를 동기와트(2차입력) P 에 대해 나타내면 다음과 같습니다.

$$T = \frac{60}{2\pi} \times \frac{P_2}{N_s} \quad (N \cdot m)$$

즉, 토크 T 는 2차입력(동기과트) P_2 에 비례함을 알 수 있습니다.

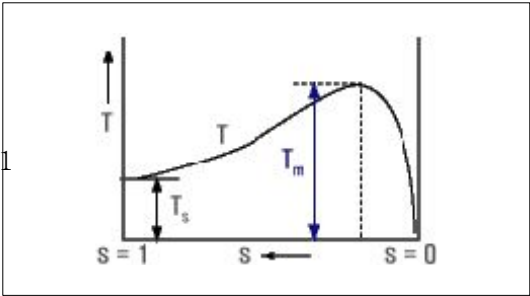
3. 속도-토크 특성

식 $T_s = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{P_0}{N}$ (Nm)에 유도전동기가 간이 등가회로에서 배운 2차입력 P_2 에 대한식을 대

입하면 슬립과 토크와의 관계식이 됩니다.

$$T' = P_2 = \frac{m_1 V_1^2 \frac{r_2'}{s}}{(r_1 + \frac{r_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2}$$

토크 T는 슬립s에 대한 함수가 되며 이 관계를 그림으로 나타낸 것을 **속도-토크특성 (speed-torque curve)**이라 합니다.



s=1일 때의 토크T(Nm)는 기동순간의 토크
이므로 **기동토크(starting-torque)Ts**라 합니
다음과 같이 구해집니다.

$$T' = \frac{V_1^2 r_2'}{(r_1 + r_2')^2 + (X_1 + X_2')^2} \quad (\text{N} \cdot \text{m})$$

이 기동토크Ts는 기동 상태에서 부하토크보다 커야 합니다. 그렇지 않으면 전동기는 정지 상태에서 가속되지 않습니다.

그리고 유도전동기가 회전을 시작하면 토크T는 회전속도증가(s감소)에 따라 증가하며, 어느 속도에서 최대가 되고 다시 감소하여 동기 속도(s=0)가 되면 토크T도 0이 됩니다.

최대토크 Tm은 $T_n = \frac{r_g'}{\sqrt{r_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}$ (N · m)의 경우에 발생하며, 그 크기는 다음과 같습니다.

$$T_n = \frac{60 \cdot N_s}{2\pi} \cdot \frac{V_1^2}{2\sqrt{r_1^2 + (X_1 + X_2')^2} + 2r} \quad (\text{N} \cdot \text{m})$$

4. 비례추이

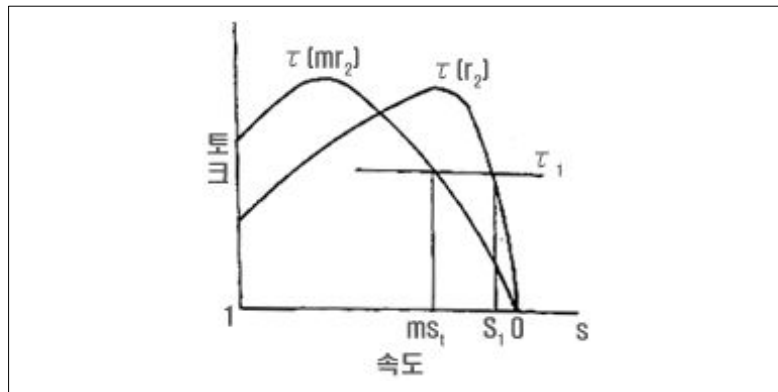
동기 와트를 나타내는 P2는 $P_2 = m_1(I_1')^2 \times \frac{r_2'}{s}$ 에서

r'2를 a배하여 ar'2로 할 때 s도 as하면 $\frac{ar_2'}{as} = \frac{r_2'}{s}$ 로 일정하므로 회전력은 변하지 않습니다.

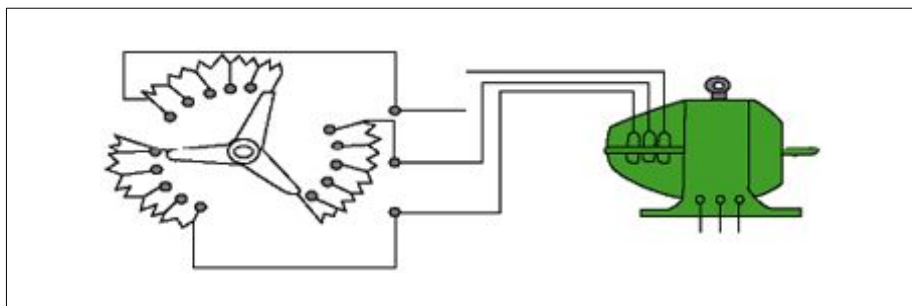
따라서 2차 회로의 저항이 r2인 경우의 토크 속도 곡선τ' 가 주어지면 2차회로의 저항이 mr2인 경우의 속도곡선τ“는 곡선τ' 위의 각 토크값을 이들에 대응하는 슬립의 m배 슬립점으로 이동시켜 구할 수 있습니다.

이와같이 r_2 가 m 배가 될 때 앞서와 같이 토크가 앞서 있던 슬립의 m 배인 점에서 일어나는 것을 토크의 비례추이라 합니다.

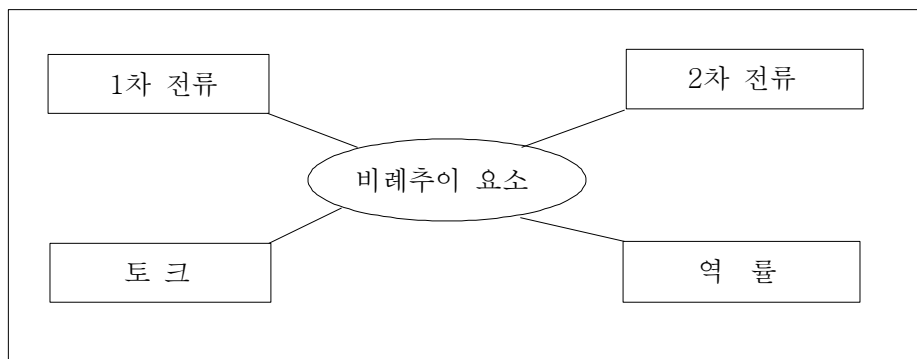
이와 같은 비례추이는 송형유도 전동기에서는 불가능하며, 권선형 유도 전동기에서 사용할 수 있습니다. 이와 같은 비례추이는 토크 뿐만 아니라, 1차 전류 I_1 , 역률 $\cos\theta$, 1차 입력 P_1 에도 적용할 수 있습니다.



* 권선형 유도전동기에서의 비례추이



권선형 유도전동기와 같이 2차저항을 가감할 수 있어야 비례추이가 가능하며 기동토크를 크게 할 수 있고, 속도제어에도 이용할 수 있습니다.



5. 기동 방법

전동기의 기동코크가 부하토크보다 약간 크면 그 차이로 전동기는 기동하게 되고 점차로 속도가 증가하게 됩니다. 그러나 기동상태에 있는 유도전동기는 2차측이 단락된 변압기와 같이 생각할 수 있으므로 1차쪽에 직접 정격전압을 가하면 매우 큰 기동전류가 흘러 권선을 소손시킬 위험이 있습니다.

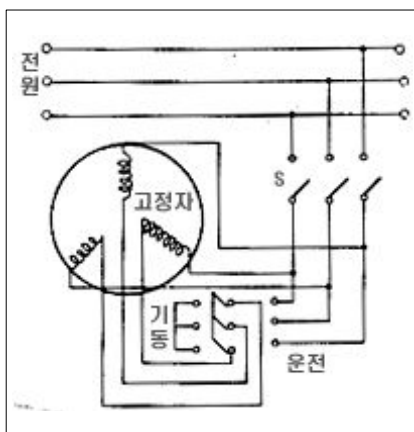
보통기동전류는 정격전류의 5~10배 정도가 되는 큰 전류이므로 전동기의 용량에 따라 기동전류를 제한할 필요가 있습니다. 기동전류를 제한하면서 가동토크를 크게 하고, 역률도 계산할 필요가 있으므로 이러 조건을 만족하는 방법을 **기동방법(starting method)**이라 합니다.

* 농형 유도전동기의 기동법

1) 정전압 기동법

소용량의 농형 유도 전동기는 정격 전압을 가하면 정격 전류의 4~6배에 이르는 기동 전류가 흐르나, 용량이 적으므로, 이 기동 전류에 견딜수 있도록 설계되어 있어, 전동기에 직접 정격 전압을 공급하여 기동하는 방법을 진전압 기동 또는 직입 기동이라 합니다. 5(KW)이하의 소용량 전동기에 주로 사용됩니다.

2) Y-Δ 기동법(star delta starting)



Y 결선일 때의 U,V,W 단자에 3상 교류 전압을 가해 주면 각 상의 권선에는 정격전압의 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 의 전압이 가해져서 결선으로 기동할에 비해

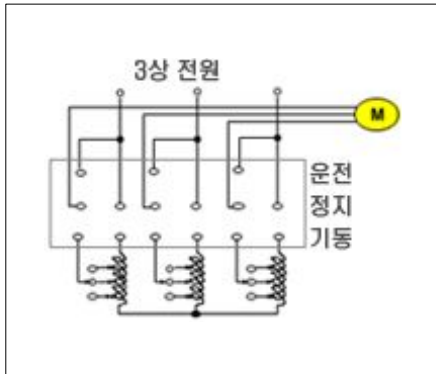
전동기 내부의 권선에는 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 배의 전류가

흐르고 전동기 바깥의 전선에는 $\frac{1}{3}$ 배의 전류가

흘러서 기동전류는 전부하 전류의 200~250(%) 정도로 저하하게 되며, 기동토크는 전부하의 $\frac{1}{3}$

정도가 됩니다.

3) 기동 보상법 (starting compensator)

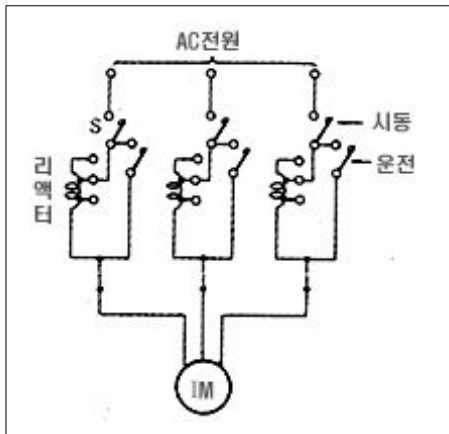


1.5(KW)정도 이상의 농형 유도 전동기를 기동시킬 경우에 기동 전류를 제한하기 위해서 그림과 같은 기동보상기법을 사용합니다.

기동보상기법(3상단권 변압기)은 기동 전류를 제한하기 위해서 정격 전압의 40~85(%)범위 내에서 2~4개의 탭 중에서 알맞은 탭을 선정하여 사용합니다. 이때 기동 보상기는 전동기 회로에서 분리되고 정격토크를 발생하면서 회전하게 됩니다.

스위치를 기동 쪽으로 옮기면 기동 보상기의 1차측은 전원에 연결되고, 2차측은 전동기에 접속되어 탭의 낮은 전압이 전동기에 가해지므로 낮은 전압으로 기동되며, 전동기의 속도가 정격속도에 이르면 스위치를 운전 쪽으로 옮겨 전전압이 전동기에 가해지도록 합니다.

4) 리액터 기동법

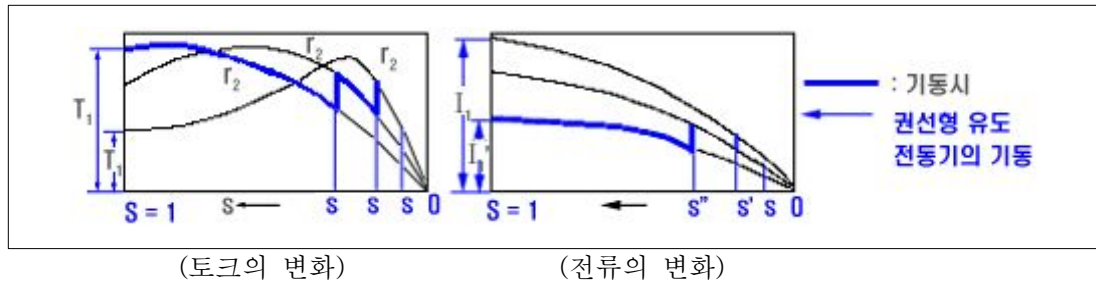


리액터 가동은 Y- 기동과 마찬가지로 기동전류를 제한하려고 할때 1차 권선에 직렬로 철심이 든 리액터를 접속하는 방법입니다.

그림과 같이 전동기의 1차측에 직렬로 철심이 든 리액터를 접속하는 방법이며 기동한 다음 리액터가 감소하는데 따라 전동기의 단자 전압이 높아지고 토크가 늘어납니다. 그러므로, 펌프나 송풍기와 같이 부하토크가 기동할 때에는 작고 가속하는데 따라 증가하는 부하에 적합한 기동법입니다.

* 권선형 유도전동기의 기동법

권선형 유도 전동기의 2차측을 슬립링에 접속하고 기동저항기를 슬립링에 연결하여 이 기동저항기를 조절함으로써 기동시에 전동기에 흐르는 기동 전류를 제한하고 기동 토크를 내게하는 방법입니다. 일반적으로 전동기의 기동시에는 큰 기동토크와 함께 낮은 기동전류가 요구됩니다.



전동기의 기동시에는 2차회로의 저항을 $r'2$ 로 크게하여 필요한 기동토크 T_1 를 내게 하는 동시에 적은 기동전류 I_1 가 흐르도록 제한합니다. 속도가 점차 증가함에 따라 전류와 함께 토크도 감소하므로 기동저항기를 조절하여 2차회로의 저항을 $r'2$ 에서 r_2 로 만들고 정격속도에 도달하면 기동저항기를 단락시켜 정상 운전하도록 합니다.

이와 같은 권선형 유도전동기의 기동법을 **2차저항법(secondary resistance starting)** 이라고도 합니다.

6. 속도 제어방법

유도전동기의 속도제어는 $N = (1 - S)N_s$ 와 $N_s = 120f/P$ 식을 통하여 슬립 S,극수 P,주파수 f등의3가지 중 어느 하나를 변화시키면 속도제어를 할 수 있습니다.

1) 2차저항 제어법

권선형 유도 전동기에서 비례추이를 이용하여 2차회로의 저항을 변화시켜 슬립을 바꾸어 속도를 제어하는 방법입니다. 이 방법은 2차 회로에 직렬로 속도조정기를 접속하여 제어하므로 2차저항손이 매우 커지며,효율이 저하되는 결점이 있습니다. 그러나 조작이 간단하고 값이싸며 기동회전력이나 전류의 특성이 좋고 속도 제어를 연속적으로 원활하게 넓은 범위에 걸쳐서 할수 있어 크레인이나 권상기에 널리 사용됩니다.

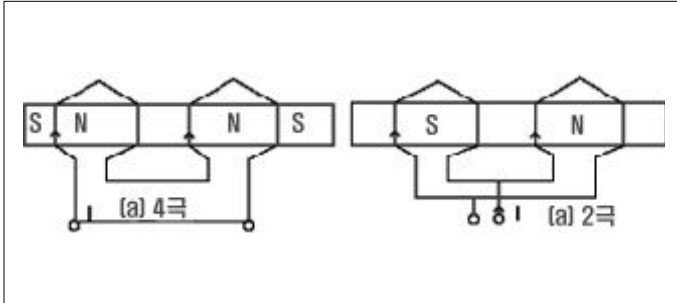
2) 주파수 변환법(line frequency control)

전동기 속도는 공급주파수에 비례하므로 슬립을 일정하게 하면 회전자 속도는 주파수에 비례합니다. 이 방법은 공급 자속을 거의 일정하게 유지하기 위해 공급전압을 주파수에 비례해서 변환시켜야 합니다.또,가변주파수를 공급하기 위해 주파수변환기(frequency changer)를 사용해야 합니다.

전동기 출력은 거의 주파수에 비례하고,주파수가 높을 수록 효율이 좋아집니다. 현재는 주파수변환기 대신에 반도체 인버터 개발로 PLC(Programmable controller)를 조합하여 원하는 속도제어를 자유로이 할 수 있게 되었습니다.

주파수 변환법은 선박추진용 전동기나 인건 공장의 실 감는데 사용하는 포트모터(port motor)에 사용됩니다.포터모터는 2극유도전동기이며 주파수는 100~160(Hz)범위로 변환시켜 속도제어를 하는 전동기입니다.

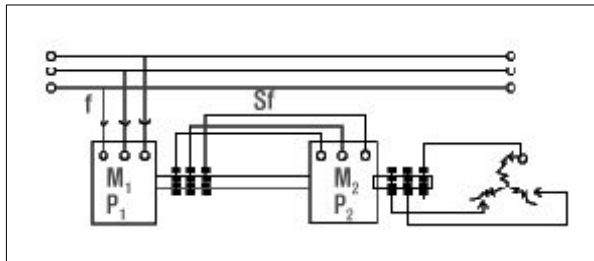
3) 극수 변환법(pole changing)



극수 변환에 의한 속도변경은 같은 홈 속에 극수가 다른 2개의 독립된 권선을 넣는 방법이 있고, 이들 두 가지를 함께 사용하면 4단계의 속도 변환을 시킬수가 있습니다.

4) 종속 접속법(cascade connection)

* 직렬 종속법



2대 이상의 유도전동기를 사용하여 한 쪽 고정자를 다른 쪽 회전자와 연결하고 기계적으로 축을 연결하여 속도를 제어하는 방법을 종속법이라 합니다. 종속법에는 직렬 종속법, 병렬 종속법, 및 차동 종속법이 있습니다.

(직렬 종속 접속)

그림과 같이 극수 P₁인 전동기 M₁과 극수 P₂인 전동기 M₂를 기계적으로 결합하고, M₁의 고정자에 f(Hz)의 전원 전압을 가하면 회전자에 sf(Hz)의 전압을 얻을수 있고 M₂의 고정자에 공급하여 2차 회로에는 저항을 연결하여 기동과 속도제어에 이용하는 방법입니다.

이때 전동기의 무하부 속도는 $N_0 = \frac{120f}{P_1 + P_2}$ (rpm)입니다.

$$\frac{120f}{P_1 + P_2}$$

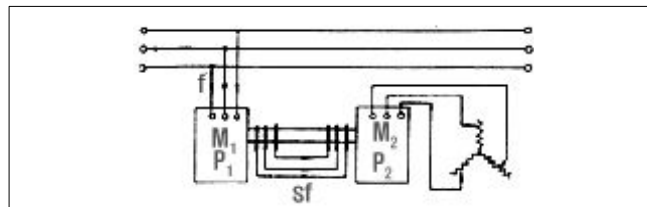
* 직렬 차동 종속법

그림과 같이 축을 직결하고, M₁의 2차와 M₂의 2차를 결선합니다.

M₁의 2차 주파수 sf를 M₂의 회전자에 공급하고 M₂의 고정자에 기동 저항기를 접속하는 방법입니다.

이때 전동기의 무부하 속도 $N_0 = \frac{120f}{P_1 - P_2}$ (rpm)

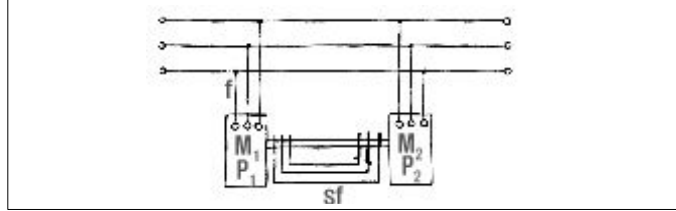
$$\frac{120f}{P_1 - P_2}$$



* 병렬 종속법

그림과 같이 M₁, M₂의 고정자를 전원에 대해 병렬로 접속하고, 회전자권선을 서로 직렬 접속하는 방법입니다.

이때 전동기의 무부하 속도는
$$N_0 = 2 \times \frac{120f}{P_1 + P_2} \text{ (rpm)}$$



5) 2차 여자법(secondary foreign control)

권선형 유도전동기의 2차 저항에 의한 제어법은 저속도가 될 수록 속도 변동률이 크고 또한 2차 손실이 커지므로 효율이 나빠집니다.

이 결점을 보완하기 위해 2차 저항 대신에 외부에서 2차전압과 평행하는 전압을 가해 크기, 위상 등을 변화시켜서 속도를 제어하는 방법입니다.

7. 제동 방법

전동기가 회전하고 있을때 전원을 끊어도 회전부분의 관성 때문에 전동기는 즉시 정지하지 않습니다.

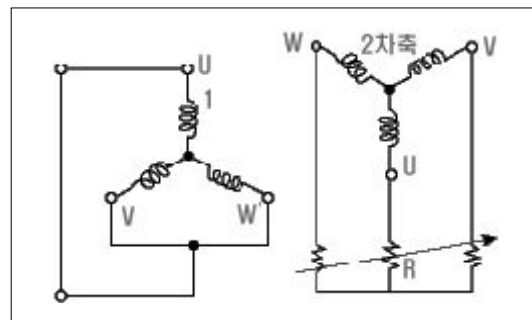
회전 중인 전동기를 재빨리 정지시키기 위해 혹은 중량물을 강하시킬때 위험한 고속도에 이르는 것을 방지할 필요가 있습니다. 이때 운동에너지를 원활하게 소비시키는 방법이 필요하며 이 방법을 **제동(braking)**이라 합니다.

제동에는 기계적 제동법과 전기적 제동법이 있으며, 기계적 제동법은 수동제동이나 압축공기 등을 이용하여 작동시키는 방법이고, 전기적 제동에는 다음과 같은 제동법들이 있습니다.

1) 발전제동

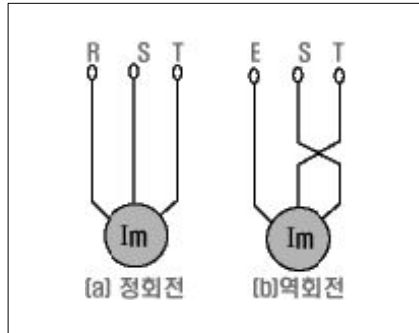
전동기를 전원에서 끊고 전동기를 발전기로 동작 회전 운동에너지로 발생하는 전력을 2차 단지에 접속한 저항에서 열로 소비시키는 제동방법입니다.

발전제동은 전동기의 회전을 정지시키거나 또는 감이 내리기의 속도 제어에 사용됩니다.



(발전제동법의 접속)

2) 역삼제동



(회전방향 변경)

전동기의 전원접속을 바꾸어 역 토크를 발생시켜 급정지 시키는 방법을 역삼제동 또는 플러깅(plugging)이라 합니다.

직류전동기에서는 전기자의 극성만 바뀌면 되나, 교류전동기에서는 고정자측의 3상 중 2단자만 교환하여 상회전을 반대로 하면 됩니다.

3) 회생제동

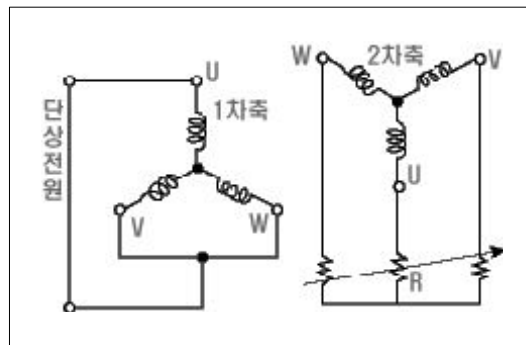
전동기에 전원을 접속한 상태에서 전동기에 유기되는 역기전력을 전원전압보다 높게 하여 회전운동에너지를 발생하는 전력을 전원측에 반환하면서 제동하는 방법입니다.

이 방법으로는 전동기를 정지시킬 수 없으므로 정지시킬 때는 다른 제동법을 병용해야 합니다.

4) 단상제동

권선형 유도전동기의 운전 중 1선을 개방하여 단상 유도기로 회전을 하게 하는 방법으로 2차저항을 크게 함으로써 정상토크보다 역상토크를 크게하여 제동합니다.

그러나 이 방법은 단독으로 쓰여지지 않으며 회생제동과 병용하며, 주로 역기계의 권하용 등에 사용됩니다.



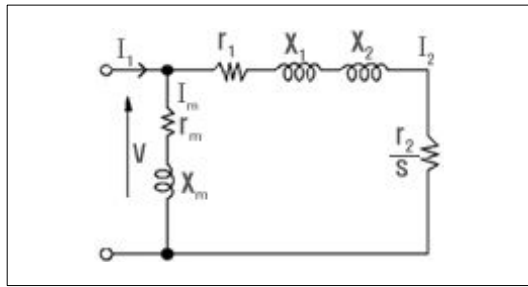
8. 원선도

1) L형 원선도 이론

3상 유도전동기를 정상상태에서 운전하고 있을 때에 구 운전특성을 산정하는데 원선도법을 사용합니다. 이는 부하전류 페이저의 궤적이원이라는 이용하여서 작도에 의해 그 특성을 구하는 방법입니다.

원선도법에는 L형 원선도법이 있으며 전자는 L형 등가회로에 바탕을 둔 방법이며 비교적

간단하기 때문에 일반적으로 많이 씁니다.



(L형 등가회로)

L형 등가회로에서

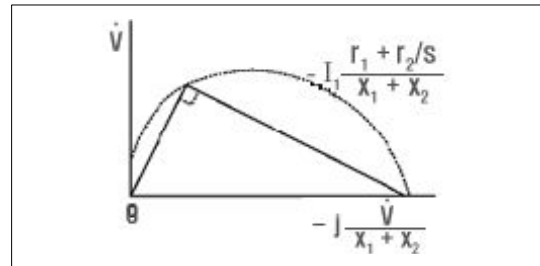
$$V = \frac{(r_1 + r_2) I_2 + j (X_1 + X_2) I_2}{s}$$

습니다. 이를 고쳐쓰면, V를 증축으로 잡고 위 식을 페이지선도로 나타내면 그림과 같습니다.

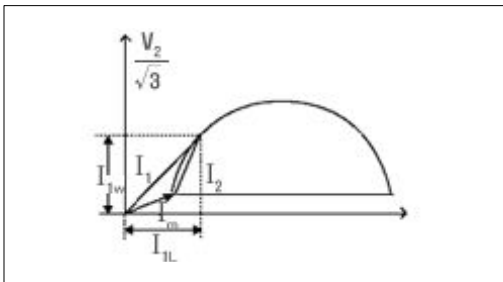
그림에서 I2의 끝은 언제나

$$\frac{V}{X_1 + X_2} = \frac{V_1/\sqrt{3}}{X_1 + X_2}$$

지름으로 하는 원주위에 있음을 알 수 있습니다. 여기에서 V1은 1차전압입니다.



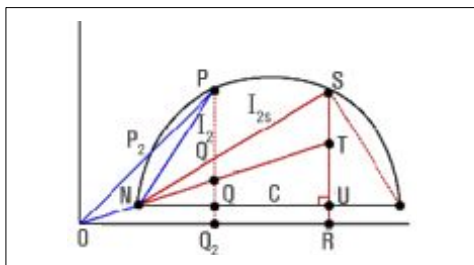
1차전류 I1은 여자전류Im과 I2를 합성한 것이므로 I1의 체적은 다음과 같습니다.



또한 V를 기준 페이지로 잡으면

$I_1 = I_{1w} - jI_{1L}$ 에서 유효분 I_{1w} 는 종축방향의 성분이고 무효분 I_{1L} 은 횡축방향의 성분입니다.

원선도에서 종축과 횡축의 눈금은 원래 전류를 눈금의 척도1(mm)를 1(mA)로 하고 있지만 종축방향의 성분 I_{1w} 에 정수 $\sqrt{3} V_1$ 을 곱한 $\sqrt{3} V_1 \cdot I_{1w}$ 는 유효전력이기 때문에 종축은 유효전력으로 눈금의 척도로 해도 됩니다.



그림에서 점s는 전동기가 구속상태에서 있을 때의 점이라 하고 이 s에서 횡축에 내리그은 수선과의 교점을 R이라하면 $N_s = I_{2s}$ 는 구속시의 2차 전류입니다.

유효 전류에 대해 생각하면

- * $\sqrt{3} V_1 \bar{I}_{2s} =$ 구속시의 전입력
- * $\sqrt{3} V_1 \bar{I}_{2r} =$ 무부하손 = 철손 = 기계손
- * $\sqrt{3} V_1 \bar{I}_{2s} =$ 구속시의 동손 = $3(r_1 + r_2)I_2^2 s$

으로 되고 \overline{SU} 는 전력눈금으로서 구속시의 1차동손의 합을 나타냅니다.

1차동손과 r_1 의 값을 알고 있다고 한다면 $\sqrt{3}V_1TU=3r_1I_2^2s$ 입니다.

즉, $TU=\sqrt{3}r_1I_2^2/V(A)$ 이 되도록 그림에서 점T를 정하면 \overline{ST} 는 구속시의 2차동손 $3r_1I_2^2s$ 를 나타냅니다.

다음에 임의의 슬립으로 운전하고 있을때의 1차전류를 그림에서 CP로 잡고 P에서 횡축에 수직선을 내리그어 각 성분과의 교점을 아래로부터 차례로 Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 이라고 합니다.

$$\frac{I_{2s}}{\overline{NU}} = \frac{\overline{NM}}{I_{2s} \overline{NQ_1}} \quad \frac{I_2}{I_2} = \frac{\overline{NM}}{I_2} \quad \frac{I_2^2 s}{I_2^2} = \frac{\overline{NU}}{\overline{NQ_1}} = \frac{\overline{SU_2}}{\overline{Q_3Q_1}}$$

따라서 $\sqrt{3}V_1 \overline{Q_2Q_1} = \sqrt{3}V_1 I_2^2 \overline{SU} = 3(r_1+r_2)I_2^2$ 으로 되고 $\overline{Q_3Q_1}$ 은 2차전류 I_2 에 의한

전동손을 나타냅니다.

이상으로부터 다음과 같이 유도전동기의 특성을 구할 수 있습니다.

- * 입력 $P_1 = \sqrt{3}V_1PQ_0(W)$
- * 무부하손 $W_0 = \sqrt{3}V_1\overline{Q_0Q_2}(W)$
- * 출력 $P = \sqrt{3}V_1\overline{PQ_3}(W)$
- * 토크 $T_s = 2차입력 P_2 = \sqrt{3}V_1\overline{PQ_2}(동기과트)$
- * 슬립 $S = \frac{2차동손}{2차입력} \times 100 = \frac{\overline{Q_3Q_1}}{\overline{P_3Q_3}}$
- * 효율 $r_1 = \frac{\overline{PQ_3}}{\overline{PQ_0}} \times 100(\%)$
- * 역률 $\cos = \frac{\overline{PQ_0}}{\overline{OP}} \times 100(\%)$

원선도 작성에 필요한 시험에는 저항 측정, 무부하 시험, 구속 시험이 있습니다.

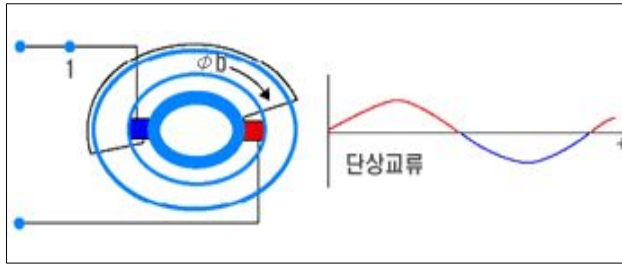
*** 단상 유도전동기의 원리와특성 ***

*** 1. 단상 유도전동기의 원리와특성 ***

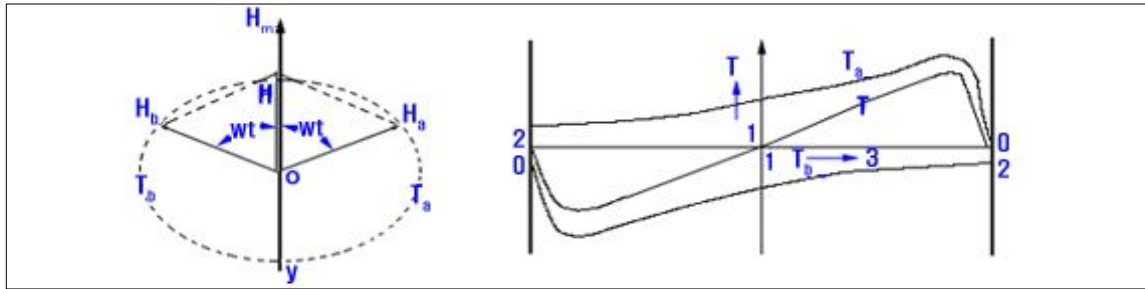
***단상 유도전동기의 회전원리**

단상 유도전동기는 가정이나 농어촌 등에서 단상 전원에 접속되어 시계,냉장고,팬,송풍기,펌프,공구 등 소용량의 동력원으로 사용됩니다.

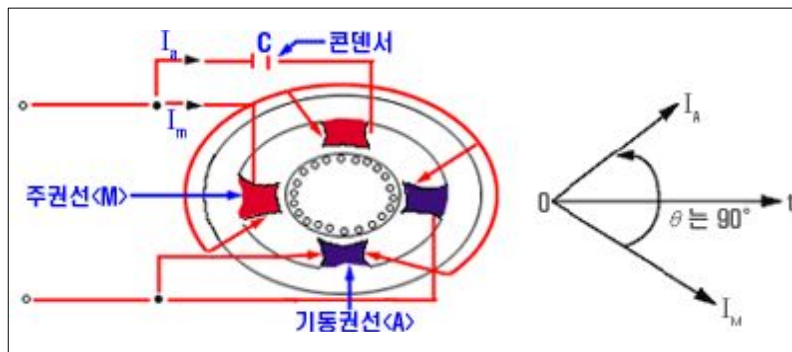
유도전동기의 고정자 권선을 단상으로 한 것을 **단상 유도전동기**라 합니다.



고정자 권선에 단상전류를 흘려주면 자계는 단순히 교변될뿐이고 회전자장은 만들어지지 않으므로 기동토크가 발생하지 않습니다. 단상 유도전동기는 기동을 위한 기동토크발생장치가 필요합니다.

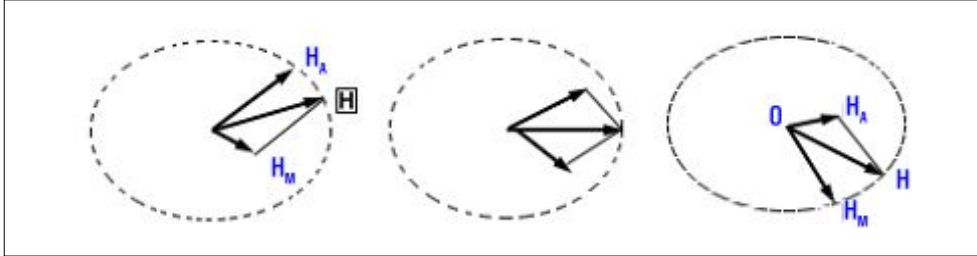


- 단상 유도 전동기에 의해 만들어지는 교변 자장 H는 최대 교변 자속의 1/2이 되는 두 개의 회전자장 Ha, Hb가 서로 다른 방향으로 회전하고 있는 것으로 생각할 수 있습니다.
- 단상 유도 전동기의 전동기 회전자에는 Ha에 의한 토크 Ta와 Hb에 의한 토크Tb가 서로 다른 반대 방향으로 작동하여 합성토크는 T와 같이 됩니다.
- 토크 특성곡선에서 슬립 S=1일때 토크는 0이고,그대로는 기동이 되지 않으나 어떤 방법을 통하여 회전자를 돌려 주면 그때 토크가 발생하며 회전을 하게 됩니다.



그림과 같이 고정자 철심에 주권선 M과 기동권선 A를 전기 각90°만큼 떨어지게 감고 권선 A에는 콘덴서를 접속한 다음 이 두 권선에 V(V)의 전압을 가하면 권선A에 흐르는 전류Ia는 Im 보다 거의90°만큼 앞섭니다.

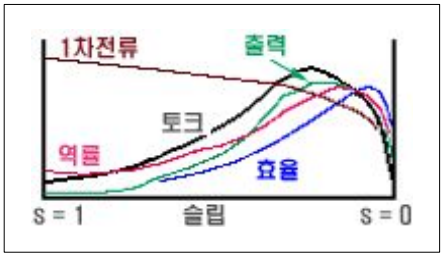
전류 I_a 가 증가할 때 I_m 은 감소하고, I_a 감소할 때 I_m 은 증가하여 H_a 와 H_m 이 시간에 따라 전류의 증감에 비례하여 합성자장 H 가 회전을 하게 되며, 3상의 경우와 같이 회전자에 기동토크가 발생합니다.



*** 단상 유도전동기의 특성**

- 단상 유도전동기도 다른 전동기와 마찬가지로 고정자부분과 회전자 부분으로 되어 있습니다.
- 단상 유도전동기의 회전속도 N (rpm)은 3상 유도전동기의 회전속도와 같이 1차 권선에 생기는 회전자기장의 동기 속도 $N_s = \frac{120f}{P}$ (rpm)에 따라 정해집니다.
- 동기속도 N_s 와 회전자 속도 N 사이에는 차이가 항상 생기며, 이 차이 $(N_s - N)$ 와 동기 속도 N_s 와의 비, 즉 슬립 s 를 다음으로 표시합니다.

$$S = \frac{N_s - N}{N_s} \times 100(\%)$$



단상유도전동기의 토크, 출력, 1차전류, 효율, 역률 등을 속도에 대해 나타낸 곡선입니다. 일반적으로 단상 유도전동기는 전부하 전류와 무부하 전류의 비율이 대단히 크고, 역률과 효율은 3상유도전동기에 비해 나쁩니다. 그리고 전동기의 크기와 가격이 비쌉니다.

그러나 가정에서 전원으로 간단하게 사용할 수 있는 편리한 이점이 가정용, 경공업용, 농사용 등 주로 0.75(Kw) 이하의 소출력 범위내에서 사용되고 있습니다. 일반용 단상 유도전동기의 표준출력은 100, 200, 400(W)입니다.

* 2. 단상 유도전동기의 기동 *

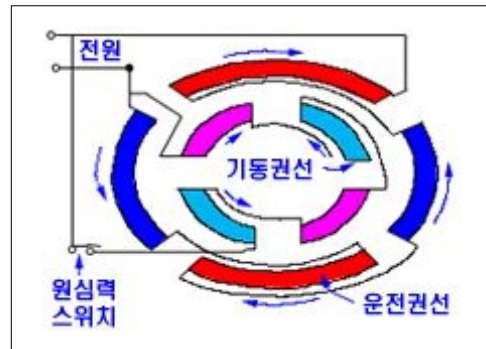
* 단상 유도전동기의 비교

종류	기동토크(%)	기동전류(%)	출력(W)	용도
분상기동	125~150	500~600	40~20	펌프, 연삭기
콘덴서 기동	300이상	400~500	80~400	농사용 펌프, 냉장고
콘덴서 전동기	40~100	400~500	극소~200	펌프, 세탁, 재봉틀
셰이딩 코일형	40~90	극소	극소	전축, 녹음기
반발 기동	400~500	300~400	100~800	농사용 펌프

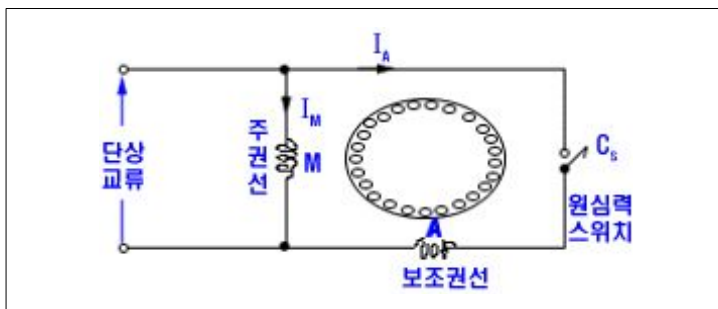
1) 분상기동형

배 치 도

- 이 전동기는 전기 냉장고, 세탁기, 소형 공작기계, 펌프 등 여러분야에 많이 사용됩니다.
- 모양은 고정자 철심에 주 권선(운전권선)과 보조권선(기동 권선)이 전기적으로 $\pi/2$ (rad) 의간격으로 감겨져 있습니다.
- 주권선은 굵은선, 보조권선은 가는 선을 사용하여 권선저항을 크게 한다.

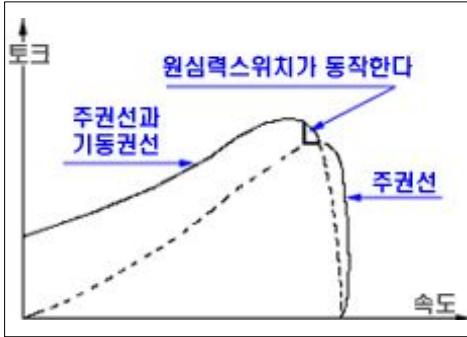


회 로 도



(회 로 도)

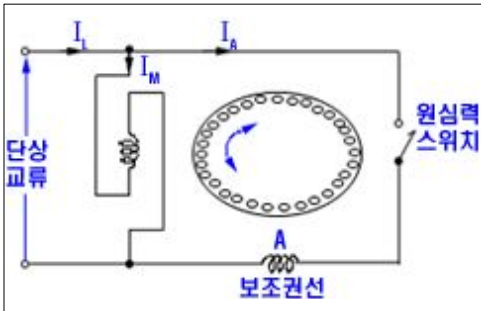
속도-토크 특성



(속도-토크 특성)

- 주권선A는 리액턴스가 크므로 공급전압V보다 뒤진 위상의 전류 I_m 이 흐르고, 리액턴스는 작고 저항이 큰 보조권선A에 공급전압V보다 조금뒤진 전류 $I_a(A)$ 가 흐릅니다.
- I_m 과 I_a 사이에 θ 만큼의 위상차가 생기고 회전력이 만들어져서 기동토크가 발생하고 전동기는회전하게 됩니다.
- 전동기의 회전자속도가 점차 증가하여 동기속도의 70~80%에서 원심력 스위치가 작동하여 보조권선 A의 회로를 자동으로 개방하고,주 권선M에 의해 전동기는 회전하게 됩니다.

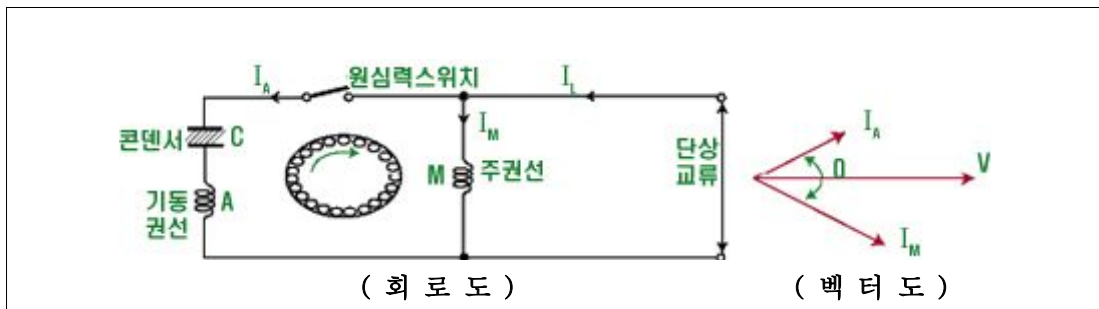
회전방향의 변경



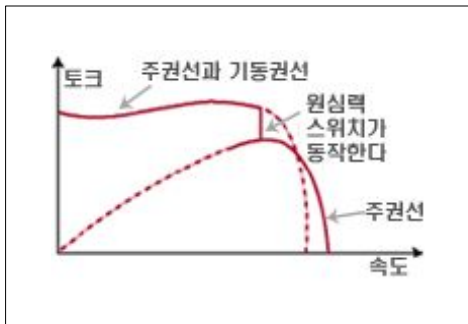
(회전방향의 변경)

- 분상기동형 전동기의 회전방향을 바꾸기 위해서는 주권선과 보조권선 중 한권선의 접속을 서로 바꾸어 접속해 주면됩니다.
- 분상기동형 단상 유도전동기는 지금까지가 많 많이 사용되어 오던 전동기였으나 기동토크가 작고,원심력스위치가 부착되어 200(W)이하의 단상 유도전동기에 제한되어 사용됩니다.

2) 콘덴서 기동형



- 콘덴서 기동형 단상 유도전동기의 고정자 권선은 분상식과 마찬가지로 기동권선이 주권선과 90° 떨어져 있습니다.
- 기동권선에 콘덴서와 원심력 스위치를 직렬로 접속한 단상 유도전동기입니다.
- 기동권선에 흐르는 전류는 콘덴서의 영향으로 공급전압보다 위상이 앞선 전류가 되고, 주권선에 흐르는 전류는 공급전압보다 위상이 뒤진 전류가 되어 주권선의 전류와 기동권선의 전류는 약 90°의 위상차가 생기며, 분상형에 비하여 큰 기동토크가 발생하고, 회전자는 회전하기 시작합니다.



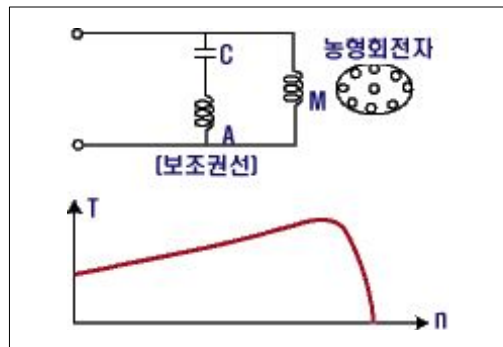
- 분상 기동형 유도전동기와 같이 회전자 속도가 동기속도의 70~80(%) 정도가 되면 원심력스위치는 기동권선을 자동으로 개방하고, 주권선만으로 전동기는 회전합니다.
- 콘덴서 기동형 단상 유도전동기의 운전특성, 회전 방향의 변경 등은 분상 기동형 전동기에 비하여 기동전류는 작고, 기동토크는 크기 때문에 기동특성이 매우 좋으며 200(W) 이상의 가정용 펌프, 송풍기 또는 소형의 공작 기계에 많이 사용되고 있습니다.

3) 영구 콘덴서형

영구 콘덴서형 단상 유도전동기는 기동할때에나 운전할 때 항상 콘덴서를 기동권선과 직렬로 접속 하고 사용하는 전동기로서 구조상으로는 콘덴서 기동형 유도전동기에서 원심력 스위치를 거한 것입니다.

* 원리

영구 콘덴서 기동 단상 유도전동기는 기동방법이 콘덴서 기동전동기와 같은 원리로 기동을 하며 정상 운전에서도 계속 콘덴서를 사용하게 되어 역률이 좋은 반면 콘덴서 기동형 단상 유도전동기에서 사용하는 콘덴서에 비하여 정전용량이 적기 때문에 큰 기동 토크를 발생하지는 않습니다.



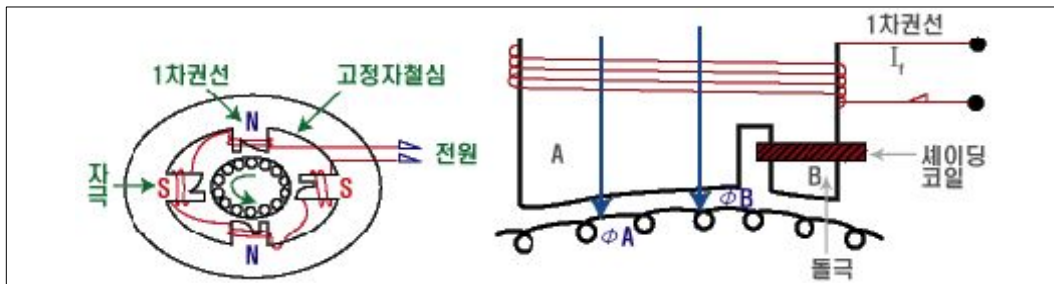
* 특징

영구콘덴서 기동 단상 유도전동기는 원심력 스위치가 없기 때문에 구조가 간단하고 역률이 좋기 때문에 큰 기동토크를 요구하지 않는 선풍기나 세탁기 등에 널리 쓰이고 있습니다.

4) 셰이딩 코일형

셰이딩 코일형 유도전동기는,회전자는 농형이지만 고정자 철심에 돌극을포함하고있는 전동기 입니다. 돌극에는 **셰이딩 코일(shading coil)**이라고 하는 구리로 된 단락고리가 끼워져 있습니다.

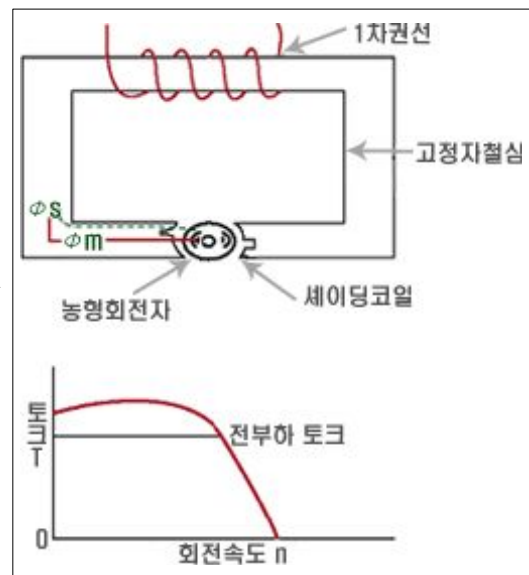
- 셰이딩 코일형 유도전동기에 단상교류 전압을 가해주면 자속은 a,b로 나누어지고 자속b는 셰이딩 코일을 통과하며,셰이딩 코일에 유도기전력을 발생시킵니다.



이때 유도기전력은 렌즈 법칙에 의해 원래 자속의 증감을 방해하는 방향으로 유기되어 b는a보다 시간적으로 늦게 자속이 변화하여 b부분으로 향하는 이동자기장이 발생한다.

셰이딩코일형 유도전동기는 셰이딩 코일이 있는 쪽의 자속이 늦게 변화하여,자기장이 발생하므로 항상 셰이딩코일이 있는 방향으로 회전을 하게 됩니다.

셰이딩 코일형 전동기는 기동토크가 대단히 작고 운전 중에도 셰이딩 코일에 전류가 계속 흘러 효율과 역률이 매우 낮은 단점이 있으나 구조가 간단하고,견고하기 때문에 전축과 소형선풍기 등의 출력이 매우 작은 수십(W)이하의 소형 전동기로 사용된다.

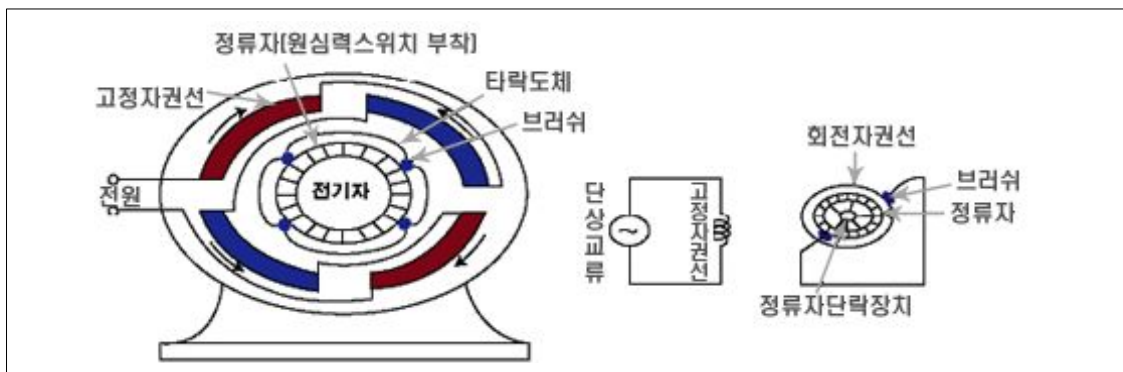


5) 반발 기동형

회전자를 농형으로 하지 않고, 권선을 한 다음 정류자를 통하여 단상정류자 전동기로 기동을 합니다.

회전 속도가 정격속도의 70~80(%)에 이르렀을때 정류자를 단락장치로 단락하여 농형 유도전동기로서 운전을 합니다.

반발 유도전동기의 구조는 복잡하지만 다른 형식에 비해 기동전류가 적고 토크가 크다는 장점이 있습니다.



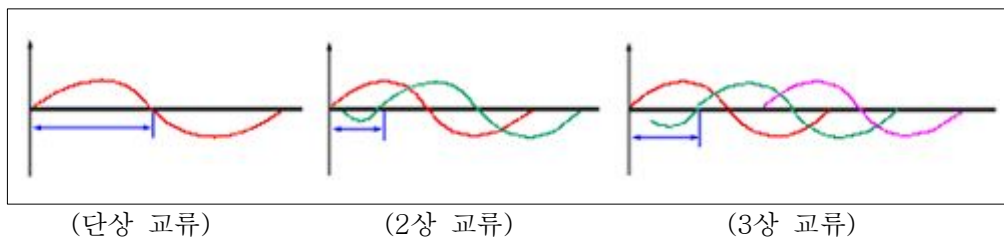
(구조)

기동 토크를 700(%)까지 제작 가능하며, 브러시의 위치를 바꾸어 간단하게 회전방향을 바꿀수 있으나 연속적인 변경은 어렵습니다.

* 유도 전동기의 종류 *

1. 상수에 따른 종류

유도전동기의 상수에 따른 종류를 설명할 수 있습니다. 유도전동기는 여러 가지 종류로 나눌 수 있는데 유도전동기의 속도나 토크 조절 기능을 좋게 하기 위하여 하나의 세트화한 전동기들이 많이 개발되고 있습니다.



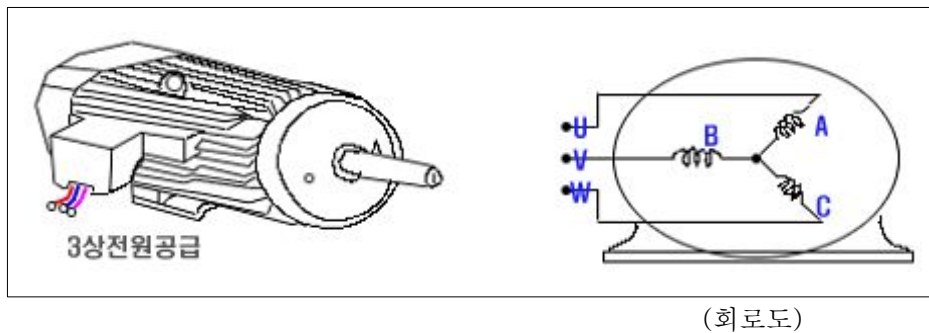
교류는 단상과 2상 및 3상으로 나눌 수 있으며, 단상은 1개의 전류파형이 교번되는

것이고, 2상은 단상교류 2개가 전기적으로 90°간격을 두고 흐르는 것이며, 3상은 단상교류 3개가 전기적으로 120°간격을 두고 흐르는 것입니다.

단상교류를 사용하면 단상 유도전동기, 2상교류를 상요하면 2상유도 전동기, 3상교류를 사용하면 3상유도전동기라고 합니다.

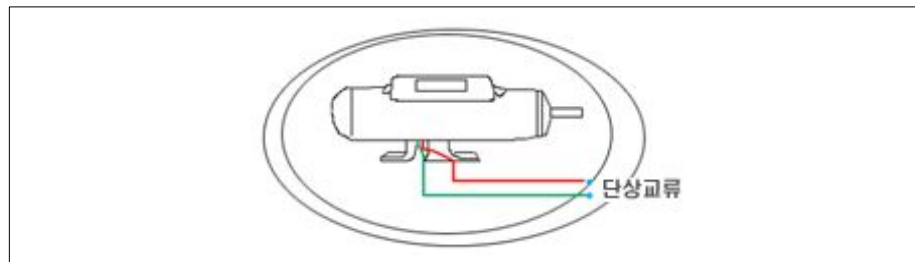
*** 3상유도 전동기**

3상유도전동기는 3상 교류 전원을 사용하며, 공장이나 큰 빌딩에서 큰 용량의 동력원으로 사용됩니다.



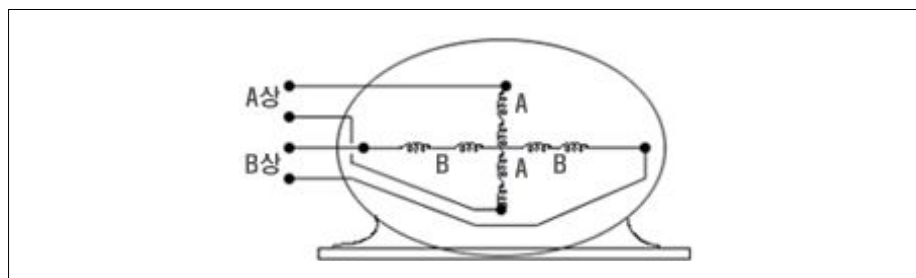
*** 단상 유도전동기**

단상 유도전동기는 단상 교류 전원을 사용하며 가정이나 농어촌 등에서 적은 용량의 동원력으로 사용됩니다.



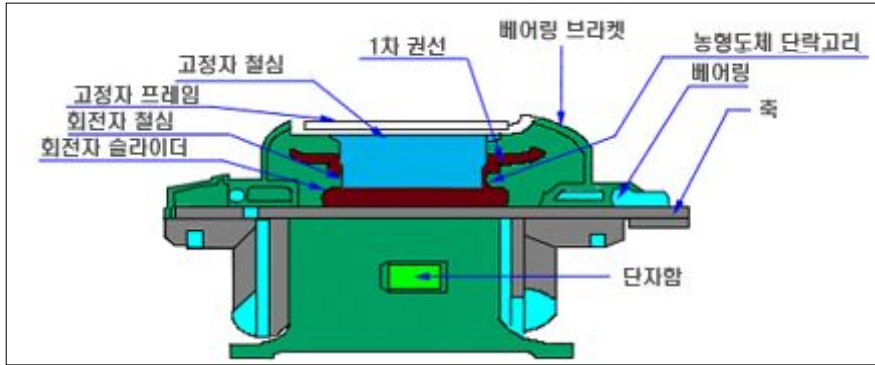
*** 2상유도 전동기**

2상 유도전동기는 위상이 90°다른 두 개의 교류를 동시에 공급하는 것으로서 4개의 전선이 필요하며, 2상 전동기 보다는 3상 전동기로 운전하는 것이 경제적이므로 2상 전동기는 특수한 경우를 제외하고는 사용하지 않습니다.



2. 회전자 구조에 따른 종류

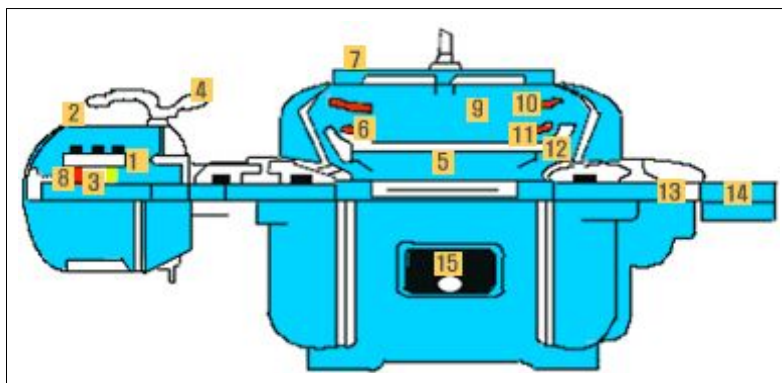
* 농형 유도전동기



농형 유도전동기는 회전자를 농형으로 한 것으로서 구조가 간단하고 취급이 용이하여 산업용 전동기로 가장 널리 사용되며 최근에는 절연재료의 발전으로 E종 모터, F종 모터 등 매우 소형화된 전동기가 많이 있습니다.

농형 유도전동기는 일반 정속도 운전용으로 각종 공작기계, 펌프, 압축기 등 일반 산업기계에 사용됩니다.

* 권선형 유도 전동기



1. 브러시잡이 붙임쇠
2. 슬립링 보호함
3. 슬립링 4. 슬립링 단락장치 핸들
5. 회전자 슬라이더
6. 회전자 철심 7. 고정자 프레임
8. 브러시 9. 고정자 철심
10. 1차 권선 11. 2차 권선
12. 통풍날개 13. 메탈 배어링
14. 축 15. 단자함

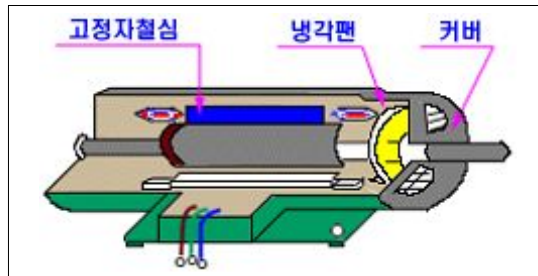
권선형 유도전동기는 회전자를 권선형으로 한 것으로서 농형에 비하여 구조는 복잡하지만 기동 특성이 우수하여 토크와 회전수를 조절할 수 있습니다.

권선형 유도전동기는 슬립링과 브러시를 가지고 있으므로 고온, 고습, 먼지, 유해가스가 있는 장소의 사용은 주의가 필요하며, 정속도 및 가감 속도 전동기로서 토크와 회전수를 조절할 수 있습니다.

3. 길모양에 따른 종류

* 개방형

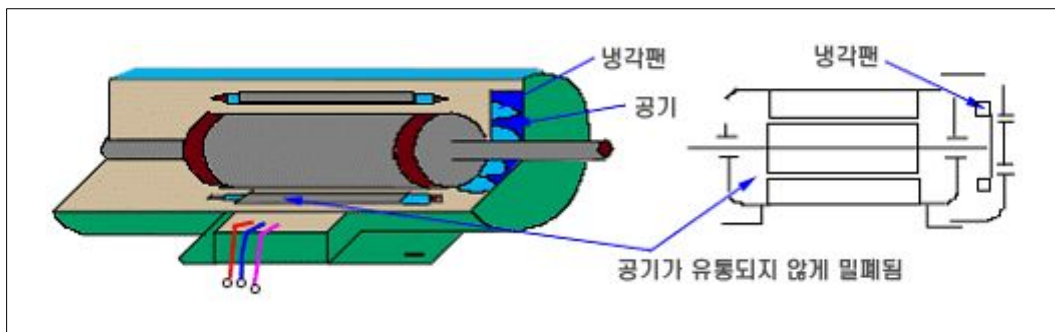
개방형은 외피가 개구가 있고 주위의 외기가 자유로이 유통되는 구조로서, 냉각이 잘 되고 소형으로 가격이 저렴한 장점을 가지고 있습니다.



* 밀폐형

밀폐형 유도 전동기는 외피가 밀폐되어 있고 주위의 외기가 유통되지 않는 구조로 되어 있습니다.

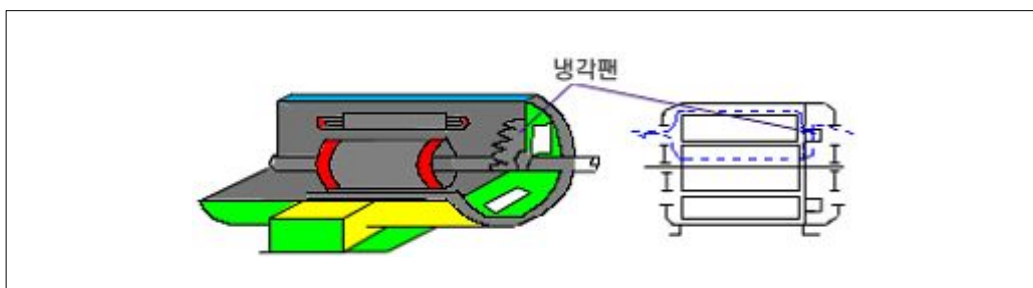
일반적으로 치수가 크고 가격이 고가이지만 먼지, 습기, 기타의 환경이 나쁜 곳에서 사용할 수 있습니다.



4. 통풍방식에 따른 종류

* 자기 통풍형 유도 전동기

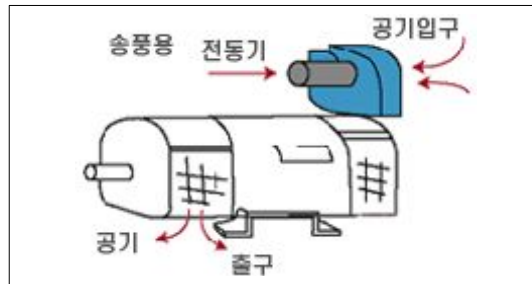
전동기의 내부 고장 및 과부하로 인하여 발생하는 열을 냉각하기 위하여 통풍을 합니다.



자기 통풍형 유도 전동기는 별도의 송풍기가 없이 회전자에 붙어 있는 냉각 팬에 의하여 통풍되는 것으로 구조가 간단합니다.

*** 타력 통풍형 유도 전동기**

타력 통풍형 유도전동기는 별도의 송풍기(주로 전동송풍기)를 갖추고 통풍하는 것으로 자기 통풍으로 풍압이 부족할 때 사용합니다.



5. 보호방식에 따른 종류

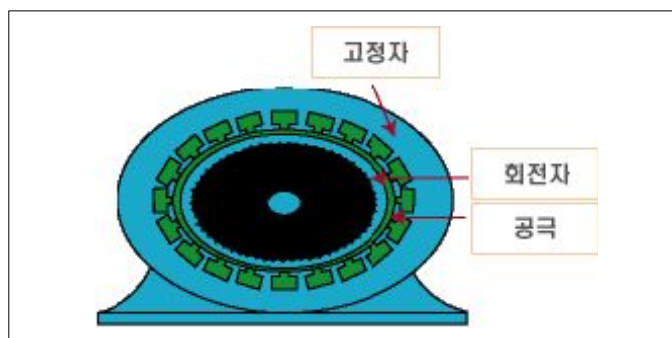
유도전동기는 여러 가지의 사용 환경에서 회전부,권선,절연물,도전부위 등을 보호하기 위하여 여러 가지 구조로 만들어져 있습니다.

- * 무 보호형 : 기체 상반부에도 특별한 보호를 하지 않는 것
- * 반보호형 : 기체 상반부만 보호형과 같이 보호된 것
- * 보호형 : 회전부분 및 도전부분에 이물질이 접촉할 수 없도록 철망 등으로 보호된 것
- * 방직형 : 면적 15°이내의 각도로 낙하하는 물방물이 직접 또는 기체면에 따라서 이들의 면에 반발되어 절연물과 접촉되는 일이 없는 구조로된 것
- * 수중형 : 수중에서 사용할 수 있는 것
- * 방수형 : 물이 들어가지 않는 것
- * 방폭형 : 화학공장 등 폭발성가스가 있는 경우는 운전 중 아크 또는 과열로 폭발할 수 있기 때문에 위험이 없는 곳에 유도전동기를 설치할 해야 하지만,부득이 위험한 장소에 설치한 때는 폭발성 가스의 침입을 방지하는 등의 안전장치를 더하여야 하는데 이렇게 보호된 전동기를 말합니다.

6. 운동방향에 따른 종류

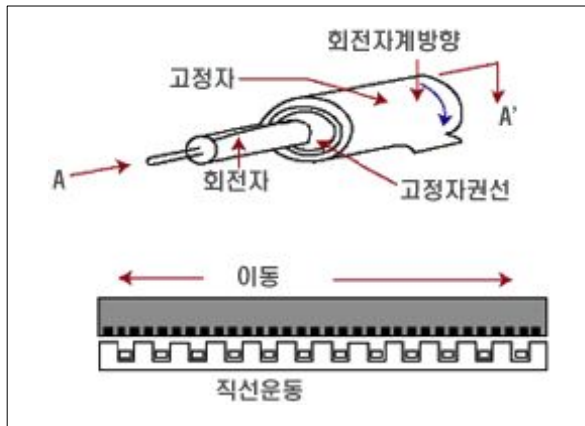
*** 회전운동 유도전동기**

전기에너지를 받아서 기계적 출력을 축의 회전력으로 나오도록 한 것이 회전기이며,대부분의 유도전동기가 회전기계라고 할 수 있습니다.



*** 직선운동 유도전동기**

전기에너지를 받아서 기계적 출력을 자계의 횡 이동에 따라서 갭을 유지하면서 가동자가 이동하는 유도전동기를 말하며, 대표적으로 리니어 전동기가 있습니다.



리니어 전동기는 회전자와 고정자를 그림과 같이 A-A'를 자른 후 펼친 것으로 그 원리는 유도전동기와 고정자 권선에 이동자계가 생기면 가동자 부분이 이동하며, 직선운동이 일어 집니다.

리니어 모터의 장.단점

*** 장점**

- 모터 자체의 구조가 간단하여 신뢰성이 높고 보수가 용이
- 기어, 벨트 등 동력변환기구가 필요 없고 직접 직선운동이 얻어짐
- 마찰 없이 추진력을 얻음
- 원심력에 의한 가속력 제한이 없고, 고속을 쉽게 얻음

*** 단점**

- 리니어 모터는 회전형에 비하여, 역률 효율이 낮음
- 공극을 일정하게 유지하는 기술이 필요
- 부하 관성의 영향이 큼
- 1차측이 고정되어 있고, 긴 경우에는 코일의 이동률이 나쁨

*** 용도**

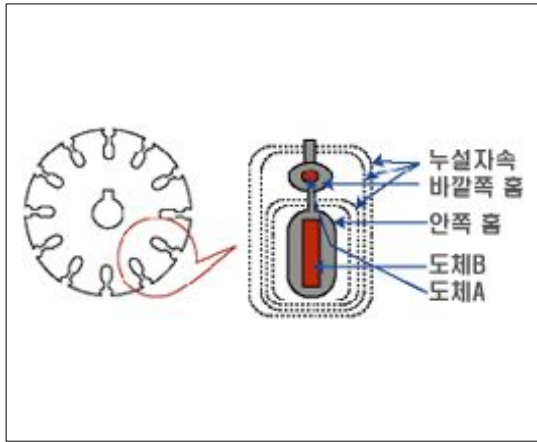
수송 밀도가 높은 컨베이어, 화차와 같은 하역 설비등

*** 특수유도기***

1. 2중 농형유도전동기

유도전동기의 농형회전자의 구조에 연구를 더하여 기동 특성을 개선하게 한 것을 특수 농형이라 하며, 이중 농형 회전자와 심구농형 회전자가 있습니다.

어느 것이나 2차 주파수의 변환에 의한 임피던스를 이용한 것입니다.



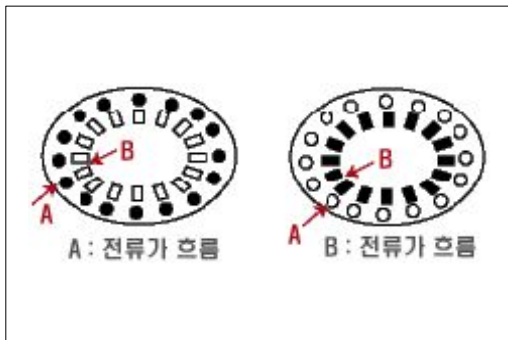
(철심 구조)

이중 농형 유도전동기(Double squirrel cage induction motor)는 그림과 같이 도체를 이중으로 넣을 수 있도록 철심에 3층의 홈을 만든 전동기입니다.

홈의 구조를 살펴보면, 바깥쪽 홈에는 항동과 같이 저항이 큰 도체를 사용하고, 안쪽 홈에는 저항이 적은 전기동을 사용합니다.

이와 같이 도체를 배치하면 안쪽의 도체B는 철심 깊숙이 들어 있으므로 바깥쪽 도체A보다 누설 자속이 훨씬 많아집니다.

전동기가 가동할 때에는 2차주파수 $f_2 = sf_1$ 은 전원주파수 f_1 과 같기 때문에 누설 리액턴스 값은 2차 저항 값에 비하여 매우 큼니다.

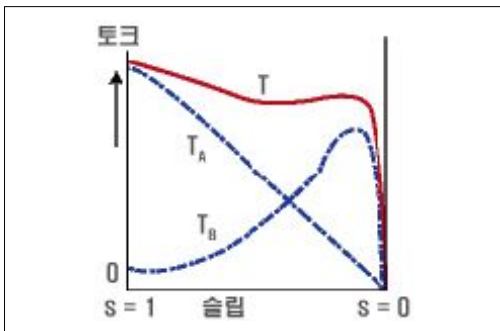


전동기가 기동할 때는 그림과 같이 리액턴스가 매우 큰 도체 B에는 전류가 흐르지 않고 저항 큰 도체 A에만 주로 흐릅니다.

그런데 기동토크는 2차 저항손에 비례하기 때문에 기동시에는 저항이 큰 바깥쪽의 A로 흐르는 전류에 의해 기동토크를 얻습니다.

기동시와 같이 슬립이 클 때에는 2차주파수가 높으므로 B에는 전류가 흐르지 않고, 저항이 큰 2차 권선이 됩니다.

슬립이 작게 되면 2차 주파수가 낮게 되어 B의 리액턴스가 감소하고 저항이 작은 2차 권선에 전류가 흐르게 됩니다.

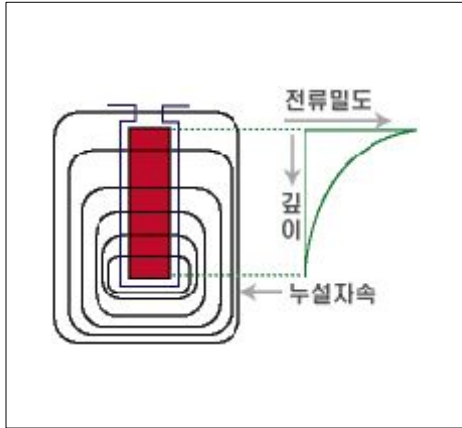


그림은 이중 농형 유도 전동기의 토크특성을 나타내고 있습니다.

T_A 는 도체 A에 의해 생기는 토크를 나타내고 T 는 도체 B에 의해 생기는 토크를 나타내며 T_B 는 합성토크를 나타냅니다.

특수 농형유도전동기의 기동토크는 전부하 토크의 100~250(%)정도 입니다.

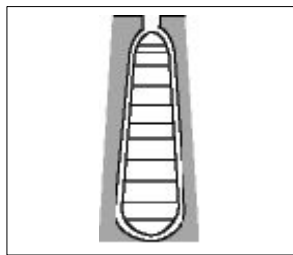
2. 디프 슬롯형 유도 전동기(Deep slot squirrel cage induction motor)



(홈의 누설자속과전류분포)

그림과 같이 2차 도체로서,회전자의 반지를 방향의 길이가 두께에 비교하여 대단히 큰 단면으로 된 것을 사용한 전동기를 말합니다. 슬롯 안에 있는 도체에 전류가 흐르면 슬롯의 밑 부분에 가까운 도체일수록 많은 누설 자속과 쇄교합니다. 또한 회전자가 가속되면 슬립이 감소하고 2차 주파수는 매우 낮아지기 때문에 전류는 2차 도체의 전 부분에 균일하게 흘러서 2차 저항이 적고,효율이 높은 일반적인 농형 유도전동기로서 운전하게 됩니다.

따라서,기동정지를 자주 반복하는 조건의 운전에는 2중농형보다 디프 슬롯농형이 훨씬 유리합니다.



(깊은 홈형 회전자)

그림과 같이 홈을 폭에 비하여 깊게 한 구조로 2중 농형과 마찬가지로 슬립이 클 때에는 전류밀도가 공극부에 가까운 쪽이 매우 높아지고 슬립이 작을 때는 전류밀도가 평균화 됩니다.2중 농형과 디프슬롯형 전동기는 2차 리액턴스가 크고 역률이 나쁘며 최대토크가 작아지는 결점이 있습니다.

기동토크는 전부하 토크의 100~150(%)정도 입니다.

* 기타 특수유도기 *

1. 유도전압 조정기

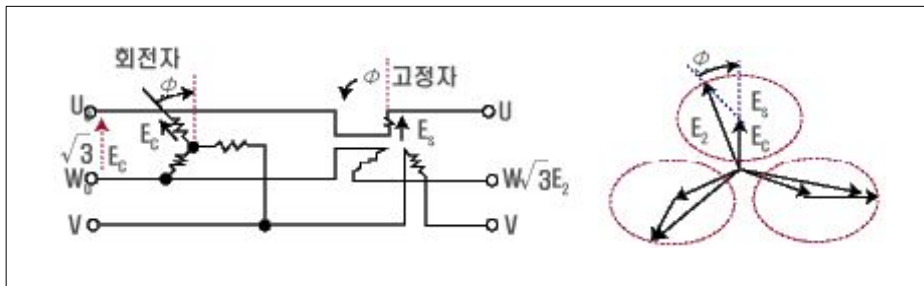
유도 전압 조정기와 같은 특수 유도기들의 원리와 구조를 알아보도록 하겠습니다.

유도 전압조정기(induction vltage regulator)는 1차권선(병력권선)과 2차권선(직렬권선)의 상대적 위치를 변환함으로써 출력전압을 연속적으로 광범위하게 조절할 수 있도록 한 변압기이고 구조상으로는 유도기와 비슷합니다.

* 구조

3상 유도 전압조정기는 권선형 3상 유도전동기와 같은 구조이며 ,회전자가 1차, 고정자가 2차이고 3상단권변압기와 동일한 결선으로 되어 있습니다.

회전자는 180°(전기 각)의 범위 내에서 외부의 힘에 의하여 회전할 수 있도록 만들었고, 이 회전자 권선을 3상전원에 접속하면 유도전동기와 같이 공극 중에 회전자계가 발생합니다.



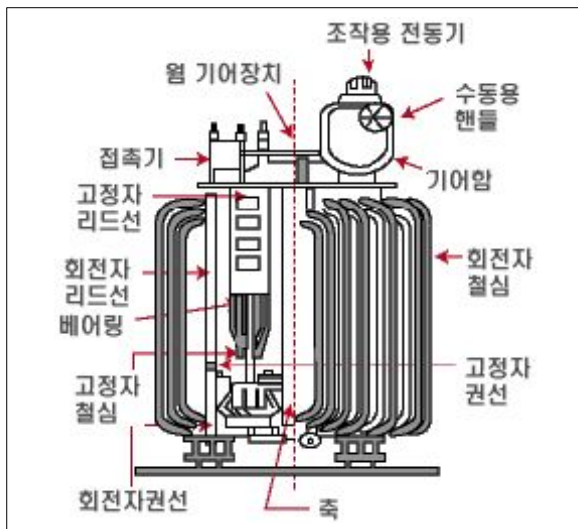
(a)

(b)

그림(a)와 같이 회전자를 고정자와 그 권선 축이 일치된 위치로부터 회전자계 θ 와 동일한 방향으로 α 만큼 회전시키면 고정자 권선은 회전자 권선보다 각 α 만큼 빠른 시각에 회전자계에 의하여 끊기므로 고정자의 유도기전력 E_s 는 회전자의 유도기전력보다 α 만큼 그 위상이 앞섭니다.

따라서,출력단자의 합성상 전압은 그림(b)의 E_2 와 같습니다.

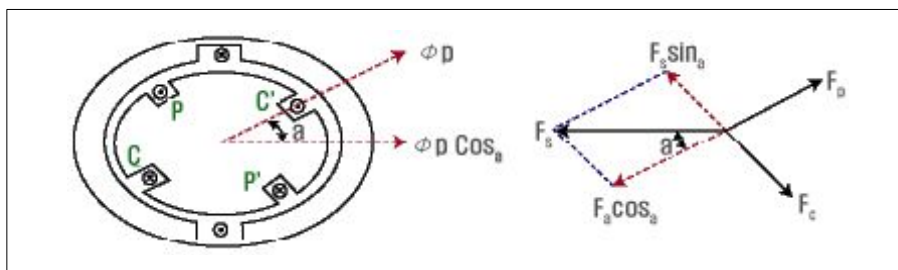
α 가 $\theta \sim \pi$ 범위 내에서 변화하면 E_2 는 $E_0 \pm E_s$ 의 범위 내에서 변화합니다.



(유도전압조정기의 구조)

3상 유도 전압조정기는 출력전압의 크기와 더불어 그 위상도 변한다는 것을 알아야 합니다. 또 출력단자에는 다상 부하를 걸어도 별 지장이 없지만 1차측은 반드시 3상 전원에 접속해야 합니다.

유도 전압 조정기에 부하전류가 흐르면 유도전동기와 같은 이유로 토크가 발행하여 회전자가 돌려고 하기 때문에 회전자의 축에는 비가역성 전동장치 **웜 기어장치(Worm gearing)**를 마련하여 외부의 힘으로 돌릴 때에만 회전자가 돌아가도록 하고 있습니다.



(a)

(b)

단상 유도전압 조정기는 회전자가 1차, 고정자가 2차 이고, 회전자에는 1차 권선 P와 직각을 이루는 위치에 단락된 보상권선 C가 있습니다. 그리고 1차 권선과 2차 권선은 단권 변압기와 같이 결선되어 있습니다.

1차권선의 유도기전력을 E_0 라 하고 1차권선과 2차권선의 권선 축이 일치되었을때의 2차 구너선 유도기 전력을 E_s 라 하면 그림(a)와 같이 두 권선의 각 위치가 α 만큼 다른 때의 출력전압은 $E_2 = E_0 + E_s \cos \alpha$ 로 되므로 α 가 $0 \sim \pi$ 까지 변화함에 따라서 E_2 는 $E_0 \pm E_s \cos$ 의 범위 내에서 변화합니다. 보상권선은 부하가 걸렸을 때에 리액터스 강하를 경감시키기 위한 것입니다.

그림(b)에서 F_p 와 F_s 를 각각 1차권선과 2차권선의 기자력(공간벡터)이라 할 때에 $F_s \cos \alpha$ 성분은 F_p 와 서로 상쇄되지만 $F_s \sin \alpha$ 성분은 그렇지 않습니다.

만약에 보상권선이 없다면 그 방향으로 큰 교번자속이 발생하고 2차권선에는 큰 리액터스 강하가 생길 것입니다.

2. 셀신 전동기

부하가 둘 이상되는 경우에 그 부하축의 회전수를 동일하게 하거나 일정비의 회전수로 운전하고자 할 때는 또는 축을 동일한 각도만큼 돌리고자 할 때에 기계적으로 연결하지 않고, 전기적으로 동기 운전하기 위하여 사용되는 유도기를 일반적으로 **셀신전동기(selsyn motor)**라 합니다.

이 경우 [전자를 파워셀신(power selsyn)라 하고 후자를 위치 지시기(position indicator)라 합니다.

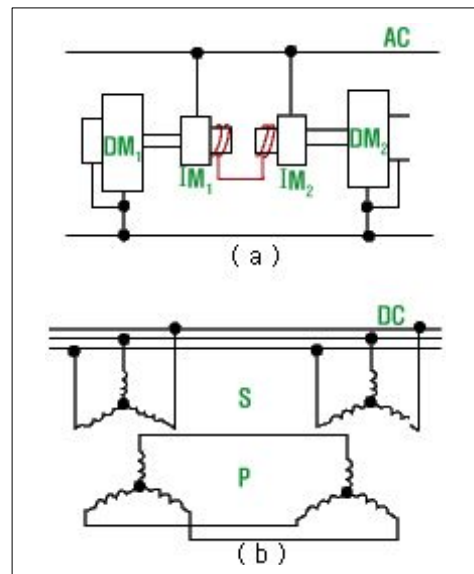
* 파워셀신(power selsyn)

그림은 파워셀신의 접속을 나타낸 것입니다.

*부하가 걸려 있는 주전동기의 축에 각각 소용량의 3상 권선형 유도전동기 IM_1 과 IM_2 를 직렬로 하고 이들 유도기의 고정자권선과 회전자 권선은 각각 병렬로 접속합니다.

*주전동기의 속도가 지정된 속도를 유지하고 있을 때에는 회전자 권선의 유도기전력은 그 크기가 같고 위상은 서로 반대이기 때문에 유도기에는 부하전류가 흐르지 않습니다.

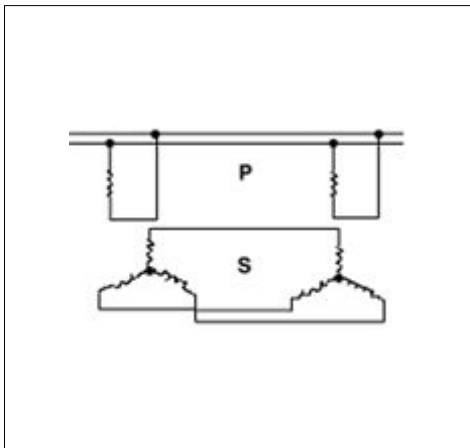
*만약에 주전동기의 DM_1 이 DM_2 보다 빠른 속도로 회전하면, 유도기 IM_1 은 유도발전기로 작용하여 축을 제동하게 되고 IM_2 는 전동기로 작용하여 축을 가속하게 되어 주전동기 DM_1 과 DM_2 가 동일 속도로 유지하도록 동작합니다.



즉,셀션전동기IM₁과 IM₂는 발전기 또는 전동기로 동작하여 주전동기는 동기운전을 유지할 수 있습니다.
이 때에 발전기로 동작하는 쪽을 송량기(transmitter)라 하고 전동기로 동작하는 쪽을 수량기(reoeiver)라 합니다.

*** 위치지시기(position indicator)**

목적물을 회전시키는 것이 아니고 단지 어떤 각도만큼 돌려주는 데에 셀션 전동기를 사용합니다.



(단상셀션의 접속)

*그림과 같이 회전자는 철극형으로 된 2극의 성층철심에 단상권선을 감아서 단상전원에 접속하고 고정자의 3상권선은 병렬로 접속합니다.

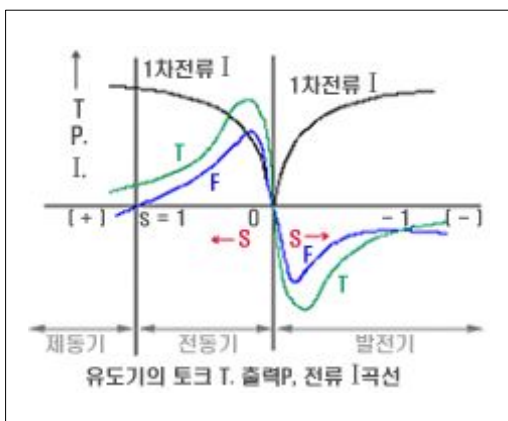
*이에 단상교류를 공급하면 회전자의 교번자속에 의하여 고정자권선에는 각각 동일 위상의 불평형 3상 유도전압이 유도됩니다.

*회전자 권선의 축과 고정자권선의 축과의 상호관계가 동일한 때에는 고정자회로에 전류가 흐르지 않지만,만약에 한쪽의 고정자가 각 α 만큼 미끄러지게 되면 유도기전력에 위상 차가 생겨서 전류가 흐르고 토크가 발생하여 다른 한쪽을 각 α 만큼 회전시켜서 편차를 0으로 만듭니다. 토크가 작아도 되는 위치지시장치에 이와 같은 셀션이 사용되고 있습니다.

3. 유도 발전기

3상 전원에 접속되어 있는 유도전동기를 원동기로 구동하여 동기 속도 이상의 속도로 회전시키면 슬립이(-)로 되어 2차 유도기전력의 방향이 반대로 됩니다.

이러한 경우에 전동기는 원동기로부터 동력을 받아서 이를 전력으로 변환하여 선로에 보내는 것으로 이를 전력으로 변환하여 선로에 보내는 것으로 되기 때문에 **유도발전기(inducotion generation)**라 부릅니다.



그림에서 슬립 s가 1에서 0까지 사이는 유도 전동기로 작용하는 경우이고, s가(-)로 되는 부분은 유도발전기로 작용하는 경우는 토크와 출력을 표시합니다.

그러나 실제로 전동기로 동작하는 부분은s가 매우 작은 부분이므로 발전기로 동작하는 부분도 s가 0에 가까운 매우 작은 부분에 지나지 않습니다.

또한 $s > 1$ 은 회전자와 회전자계와 반대방향으로 도는 경우에 해당합니다.

즉, 제동기(brake)로 동작하는 경우입니다.

유발전기는 축에 기계력을 가해서 동기 속도가상으로 회전시켜야 하므로 단독으로 사용할 수 없습니다. 보통 동기발전기와 병렬로 연결하여 사용합니다.

4. 유도 주파수변환기

권선형 유도기에서 2차권선에 발생하는 슬립주파수의 전력을 이용하는 것을 유도주파수 변환기라 합니다.

다른 기계의 도움을 받지 않고 단독으로 전동기작용에 의하여 회전하면서 2차측에서 슬립주파수의 전력을 공급할 수 있지만, 보통 사용되는 것은 다른 유도전동기나 동기전동기와 직렬한 것입니다.

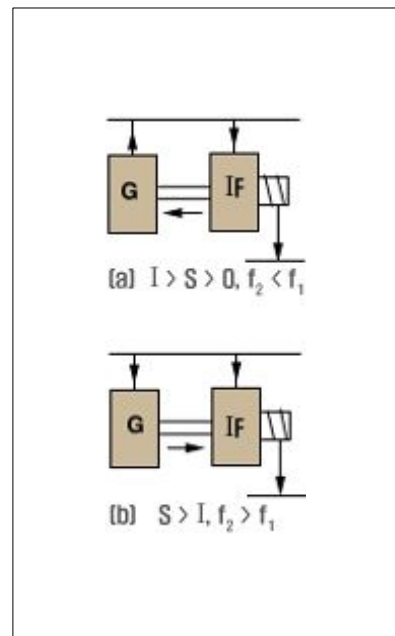
* 유도전동기와 연결한 것 - 유도 비동기 주파수 변환기

* 동기전동기와 연결한 것 - 유도 동기 주파수 변환기

유도주파수 변환기에서 전원주파수보다 낮은 주파수를 얻고자 하는 경우에는 그림(a)와 같이 $1 > s > 0$ 슬립으로 운전하면 되는데 이 경우에 주파수 변환기 IF는 유도전동기로 작용하고 있기 때문에 그 발생 동력을 연결된 기계로 흡수해야 합니다.

또, 전원 주파수보다 높은 주파수를 얻고자 하는 경우에는 그림(b)와 같이 $s > 1$ 슬립으로 운전하면 되고 이 경우에는 유도 브레이크 작용을 함으로 전원으로 부터 전력을 받음과 동시에 구동용 전동기 M으로부터 동력을 받아서 동일한 출력의 전동발전기식 주파수 변환기에 비하여 기계가 소형이고 값도 저렴하며 효율은 높습니다.

또, $s < 0$ 의 범위에서는 IF가 발전기 작용을 하기 때문에 구동기 M이 커져서 비경제적입니다.



(유도주파수 변환기)