Chapter2. 유도모터의 기초



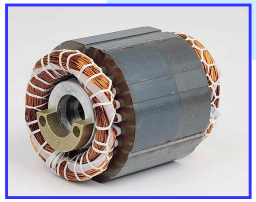
학습 목적

모터 사업부에서 생산하는 유도 모터는 기본원리와 특성에 대해 이해한다.

학습 안내



1. 유도 모터란
2. 유도모터의 회전원리
   1)아라고의 원판
   2)회전자계
3. 유도모터의 특성 이해
   1)동기속도와 슬립
   2)회전력
   3)기동
   4)최대출력
   5)효율과 손실







1. 유도 모터란

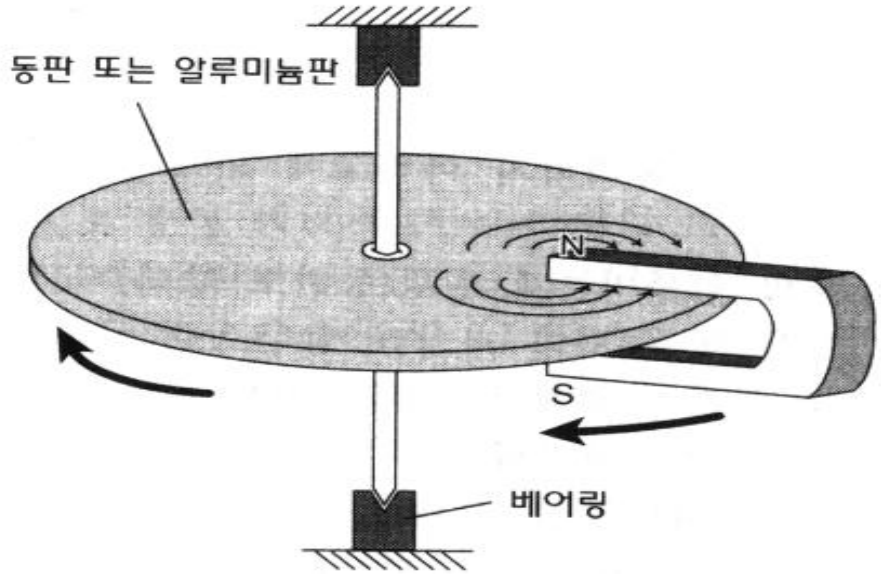
고정자 권선에 흐르는 교번 전류에 의해 회전자계를 만들고 그 회전 자계와 회전자에 발생하는 유도전류의 상호 작용에 의한 토크를 이용한 모터이며, 사업부에서 주로 생산하고 있는 농형 유도 모터는 1891년 유럽의 A.E.G회사의 M.D Dobrowisky에 의해 발명되었다.
그 중에서도 농형 유도 모터는 구조가 간단하고 취급이 용이하며 염가이고, 보수가 거의 필요 없으며 정전압 정주파수의 상용 전원으로 거의 정속 운전이 되는 특징을 갖고 있는 장점이 있다.

2. 유도 모터의 회전원리

1) 아라고의 원판

1820년 D.F Arago에 의하여 실험된 것으로 동 혹은 알루미늄으로 만든 원판을 축으로 지지하고, 회전할 수 있게 하고 U자형 자석을 화살표 방향으로 급속히 움직이면 원판은 자석보다 느린 속도로 같은 방향으로 움직인다는 것을 발견하였다.

이는 자석의 위를 N극, 밑을 S극이라고 하고 이것에 Fleming의 오른손 법칙을 적용하면, 원판 중에 생기는 전류의 방향은 원판중심에서 원판주변으로 흐름을 알 수 있다. 자석이 시계방향으로 움직인다는 것은 상대적으로 자석이 정지하고 원판이 반시계 방향으로 움직이는 것과 같으므로, 전류의 방향은 자극간에서 원판주변에서 중심방향으로 된다. 이 와전류와 자석이 만드는 자력선 간에 발생하는 힘은 Fleming의 왼손 법칙에 의하여 자성이 움직이는 방향과 같은 방향으로 움직이는 것을 알 수 있다.

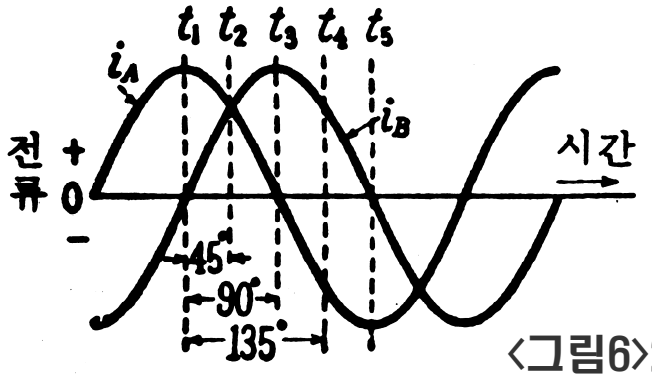


<그림5>아라고의 원판

2)회전자계

유도모터는 회전자계의 발생이 없으면 회전력은 생기지 않으므로 회전자계가 생명이라고 할 수 있을 것이다. 적당한 고정자 권선에 전원으로부터 교류전압을 공급하면 회전자계가 생기고, 2상을 공급하면 2상 유도(Two-phase induction)모터, 3상을 공급하면 3상 유도(Three-phase induction) 모터라고 부른다.

가정에서 사용하는 모터는 그 자체만으로 회전자계를 만들 수 없으므로 모터내에 2상이 되도록 결선하고 회전한 후에는 단상으로 운전하므로 이것을 단상유도모터 (Single_phase induction motor)라고 부른다.

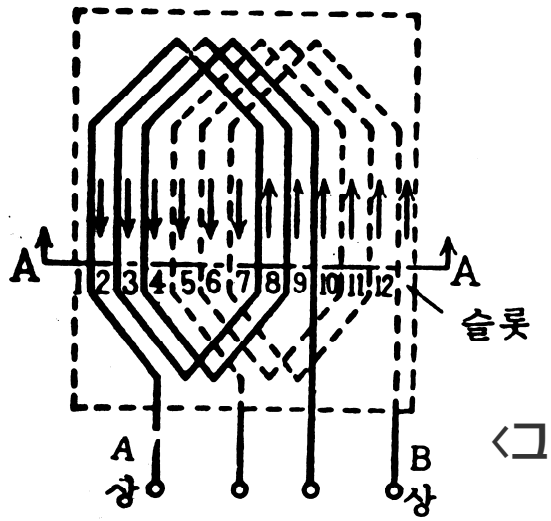


<그림6>2상 전류 파형

① 단상 유도모터의 회전자계

그림6과 같이 크기가 같고 90° 의 위상차를 가진 2개의 교류전류 iA, iB가 있을 때 이 2개의 교류를 2상교류라고 한다.

고정자의 Slot에 A상, B상의 2권선을 중심이 전기적으로 90° 되도록 그림7과 같이 삽입하여, 각각 A상, B상의 전류를 흘리면 시간에 대한 전류와 자계의 관계는 다음과 같다.



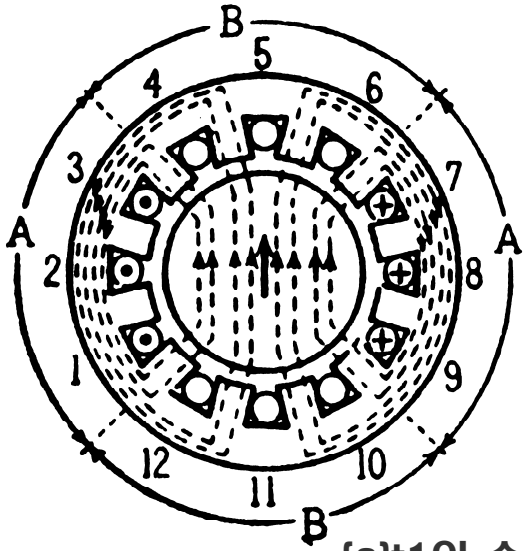
<그림7>고정자 권선

a) t1 순간
전류는 A상이 +방향이고 최대이고, B상은 0이다. 이때 자력선의 방향은 그림 (a)와 같고 자력선을 합성한 자계의 방향은 위쪽이 된다.

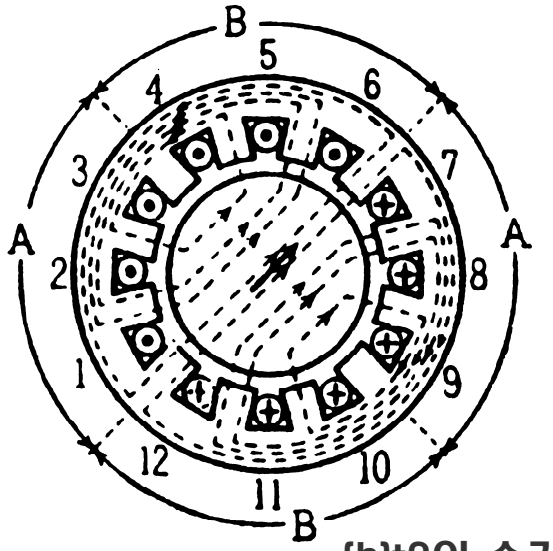
b)t2 순간(t1에서 45° 경과)
전류는 A상, B상 모두 +방향이고 크기는 같다. 이때 자계의 방향은 t1보다 45° 오른쪽으로 회전한 그림(b)와 같다.

c)t3(t1에서 90° 경과)
전류는 A상이 0이고, B상은 +방향이고 최대이다. 이때 자계의 방향은 t2보다 45° 오른쪽으로 회전한 그림©와 같다.

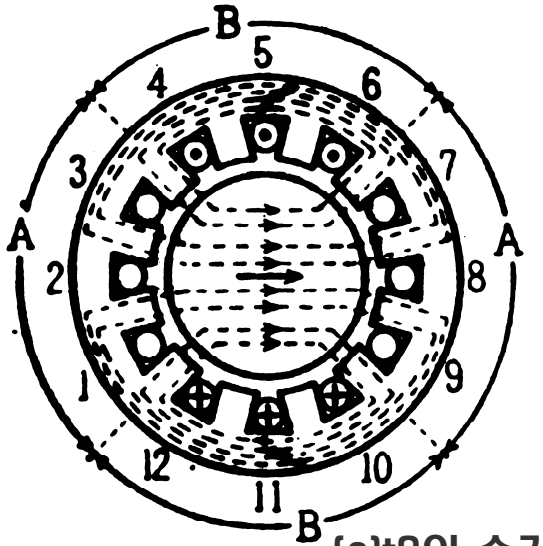
d)t4(t1에서 135° 경과)
전류는 A상, B상의 크기가 같고 방향이 반대이다. 이때 자계의 방향은 t3보다 에서 45° 회전한 그림 (d)와 같다.



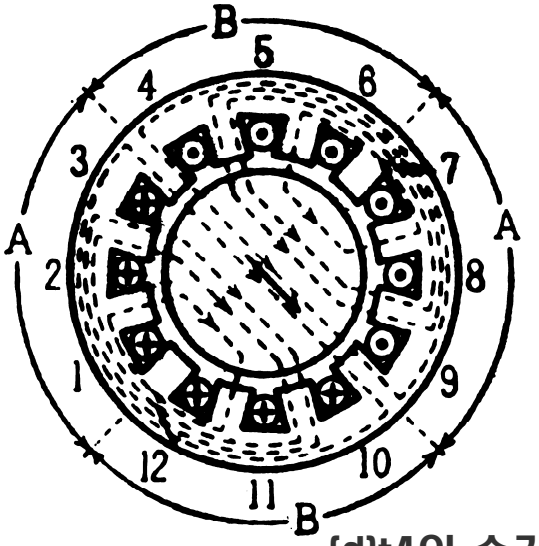
(a)t1의 순간



(b)t2의 순간



(c)t3의 순간

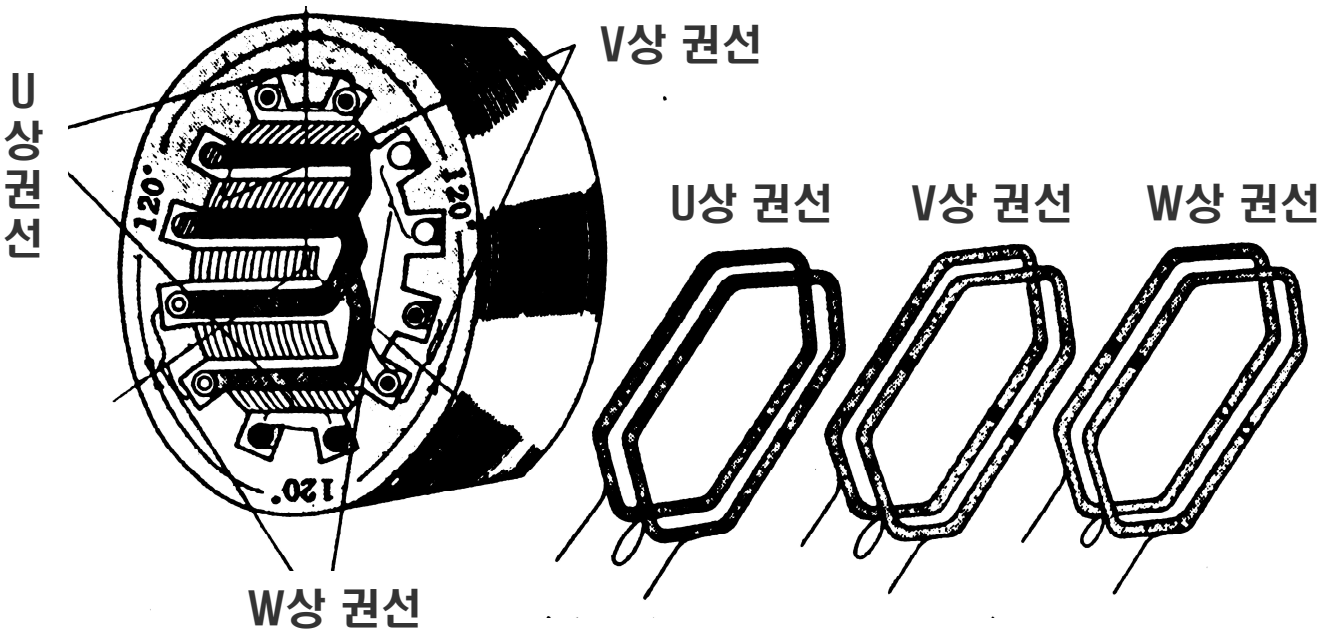


(d)t4의 순간

<그림8>2상 유도모터의 회전자계

위와 같이 자계는 오른쪽으로 전류의 1주기마다 1회전한다.
전기각으로 90 ° 떨어진 코일에 90 ° 의 위상차를 갖는 교류를 흘릴 때 시간적으로 90 ° , 전기적으로 90 °
떨어진 2개의 자계가 존재하고, 이 두 자계는 회전자에 제각기 작용하는 것이 아니고 합성되어 크기가 일정한 회전자계가 되고, 위상이 빠른 전류가 흐르는 코일에서 위상이 늦은 전류가 흐르는 코일 쪽으로 회전자계가 발생하여, 이 속에 농형 회전자를 놓으면 회전자계와 같은 방향으로 회전자계보다 느린 속도로 회전을 할 것이다. 즉 2상 권선한 고정자는 기계적으로 정지되어 있어도 2상 전류를 흘리면 회전자계가 만들어지고, 자석을 손으로 회전시키는 것과 동일한 효과가 나타나는 것이다.

②3상 유도모터의 회전자계
3상권선은 그림9와 같이 원통형의 철심의 내면(內面), 즉 공극면의 주변에 3조의 코일을 분포시켜 Slot에 배치하고, 각조의 권선축을 전기각으로 120 ° 가 되도록 했을 때 각 권선을 U상권선, V상권선, W상권선이라고 하고, 3상교류를 흘리면 코일은 정지해 있지만 자계는 회전하여 회전자계를 발생한다. 2상과 같이 3상전류를 흘리면 시간에 대한 전류와 자계의 관계는 다음과 같다.

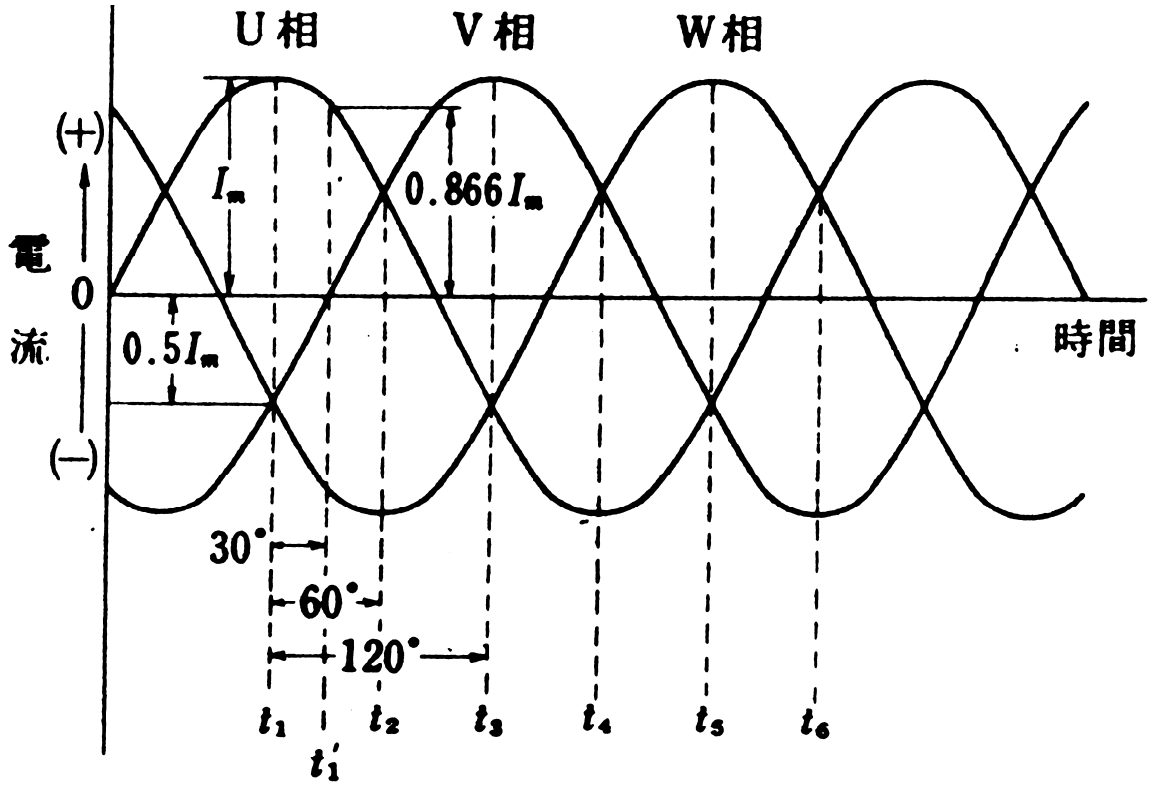


<그림9>3상 유도모터의 권선

a)t1 순간
U상의 전류가 최대치 Im이 되고, V상 및 W상의 전류는 0.5 Im이 되고 U상의 전류와 방향이 반대가 된다. 이 전류에 의해 생기는 자력선은 그림과 같아 자계의 방향은 9시 방향이 된다.

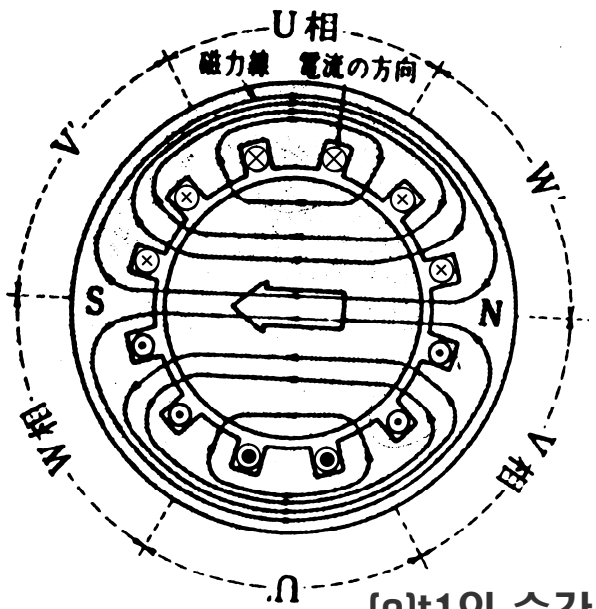
b)t1 ′ 순간(t1보다 30 ° 경과)
V상의 전류는 0이 되고, U상의 전류는 0.866Im이고, W상의 전류는 -0.866Im이 되어 전류의 분포는 그림과 같이 되어 자력선이 생기므로 자계의 방향은 t1보다 30 ° 회전한 방향이 된다.

c)t2(t1에서 60 ° 경과)
W상의 전류가 -Im이고, U상과 V상의 전류는 0.5Im이 되어 합성 자계의 방향은 t1보다 60 ° 회전한 방향이 된다.

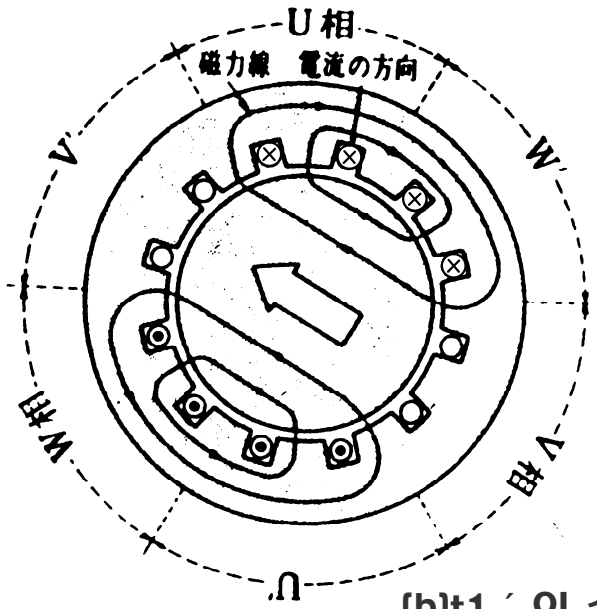


<그림10>3상 교류 전류

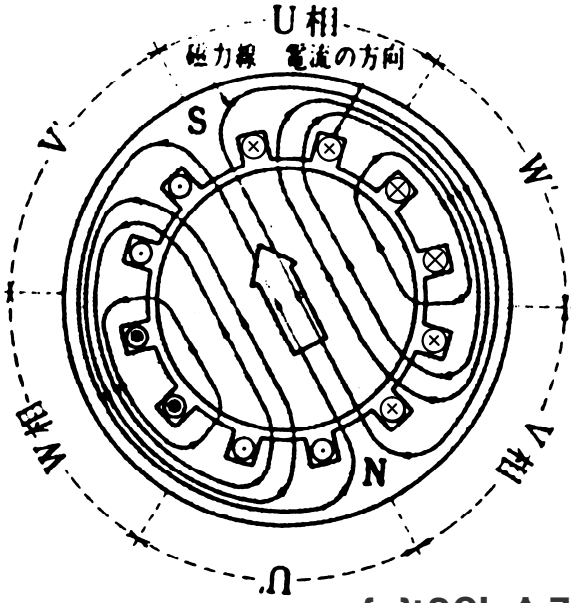
상기와 같이 t3 ~t6의 순간에 자계의 방향은 그림(d) ~ 그림(g)와 같이 회전하여 1주기의 전류가 변화되면 1회전하는 회전자계가 발생한다.



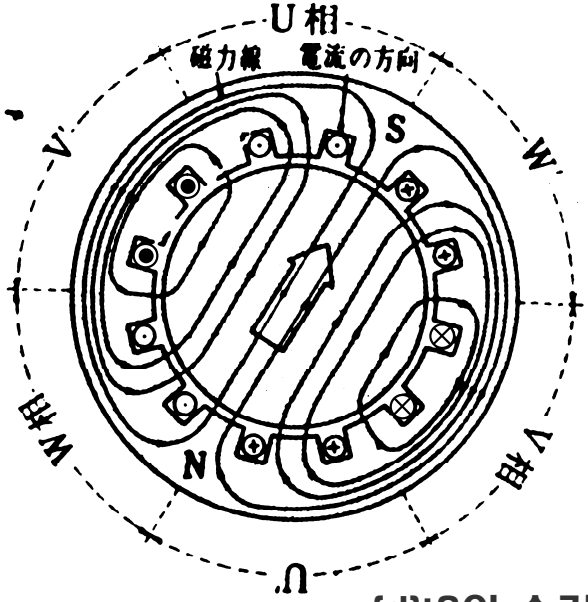
(a)t1의 순간



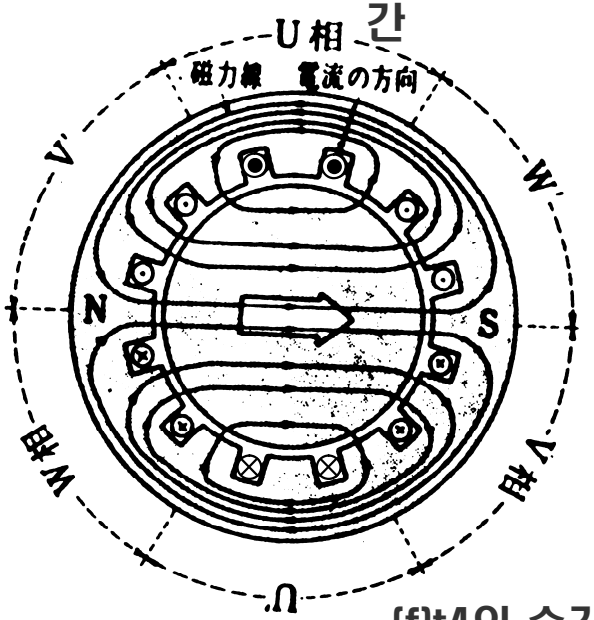
(b)t1 ´ 의 순간



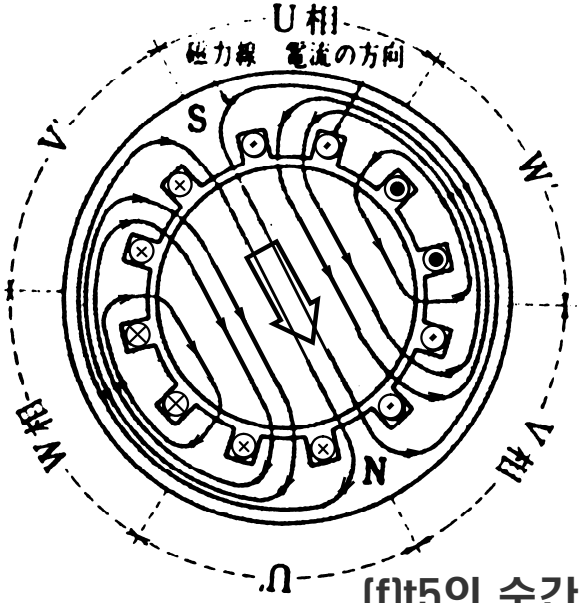
(c)t2의 순간



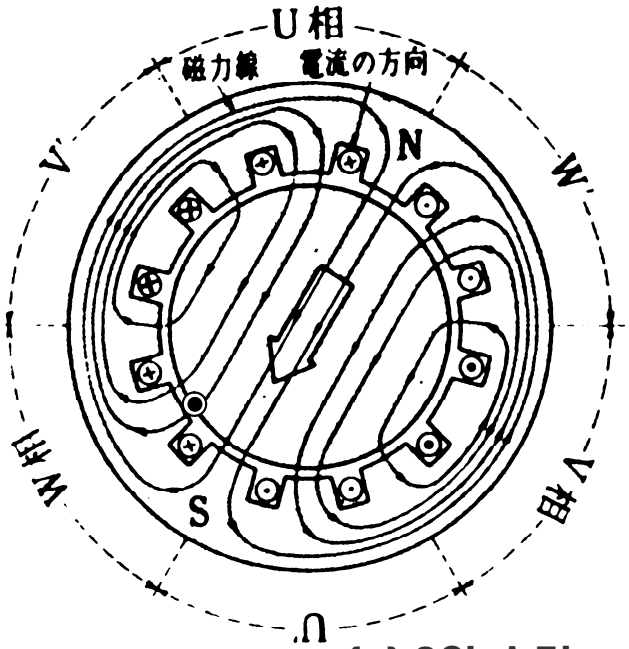
(d)t3의 순간



(f)t4의 순간



(f)t5의 순간



[g]t6의 순간

3. 유도모터의 특성 이해

1) 동기속도와 슬립

모터의 극수는 N과 S극을 한조로 하여 2의 배수이고, 회전속도는 극수와 주파수에 의해 결정된다.

동기속도란 모터 회전자계의 회전속도로 1분당 회전수[rpm]로 나타낸다.

$$\text{동기속도} = \frac{\text{주파수}}{(\text{극수}/2)} \times 60 = \frac{120 \times \text{주파수}}{\text{극수}} \ [\text{rpm}]$$

회전자가 회전자계와 동일 속도로 회전한다면, 회전자 도체와 쇄교하는 자속의 시간당 변화량은 0이 되어 전압을 유기하지 못하고, 회전력은 발생하지 않는다. 따라서 회전력을 발생하기위해 회전자의 속도는 회전자계의 속도보다 느려야 한다.
매분당 회전자계의 속도를 No, 회전자의 속도를 N라고 하면, 자속을 끊는 속도는 No-N이 되고, No에 대한 비를 슬립(Slip)이라고 한다.

$$S = \frac{No-N}{No} \text{ 혹은 } N = No(1-S)$$

슬립은 부하의 크기에 따라 변하며, 부무하에서 거의 0이고, 부하에서는 5~10% 이다.

2)회전력(Torque)

힘은 선형운동에, 회전력은 회전운동에 사용되는 일의 량이다.
전동기에서 회전력이란 회전자를 회전시키는 힘으로, 회전자의 반경 r[m]와 회전자 외경에 작용하는 접선방향의 힘 F[N]의 곱이다.

$$T = F \times r\ [N \cdot m]$$

T의 회전력을 내면서 전동기가 1회전한다면, 반경 1m인 점에서는 T[N]의 힘으로 2π[m] 움직인 것이 되고 2πT[J]의 일을 하게 된다.

모터의 회전수가 n[rpm]이면 1초간 n/60회전하고, 1초당 일의 양,
즉 출력은

$$P = 2\pi T \cdot \frac{n}{60}[J/s] = \frac{2\pi}{60} Tn = 0.1047\ Tn[W]$$

$$T = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{P}{n} = 9.54 \frac{P}{n}[N \cdot m]$$

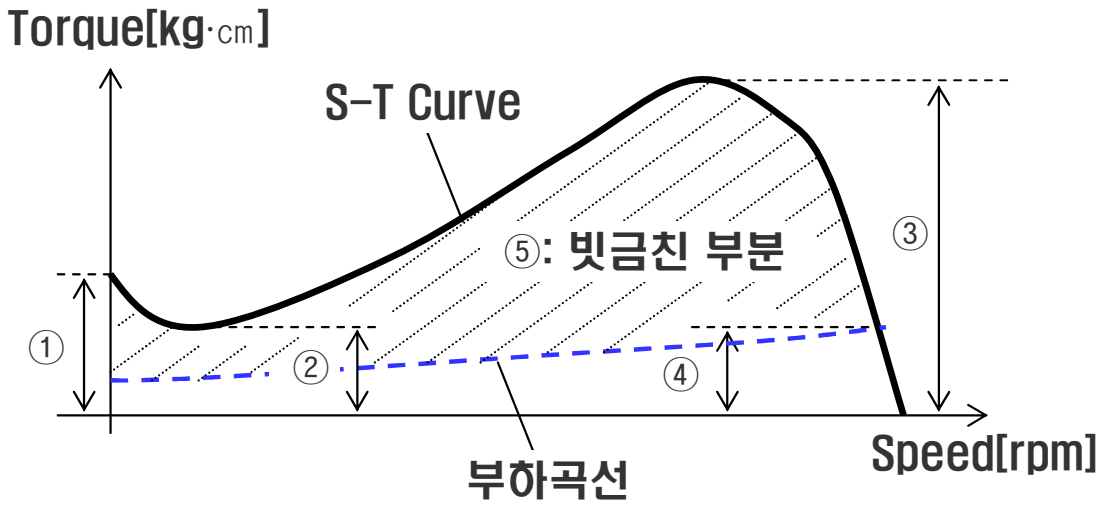
1kg은 9.8[N·m]이므로

$$P = 0.1047\ Tn = 0.1047\ (9.8\ T')n = 1.026\ T'n[W]$$

$$T' = \frac{P}{1.026n}\ [kg \cdot m]$$

①기동 회전력(Starting torque)

모터가 기동할 때 발생하는 회전력으로 회전자 구속 회전력(Locked rotor torque), 출발 회전력(Breakaway torque) 라고도 한다.



<그림11>유도모터의 속도 · 회전력 특성

②최소 회전력(Pull-up torque)

모터의 기동시 나타나는 최소 회전력으로, 정상적인 경우에는 이 회전력은 발생하지 않는다. 이상기동에 대해서는 뒤에 별도로 설명하겠다.

③최대 회전력(Breakdown, Maximum torque)

모터가 낼 수 있는 회전력의 최대치로서 탈출 회전력(Pull-out torque), 정동 회전력이라고도 하며, 통상 동기속도의 80~90%에서 발생한다.

④전부하 회전력(Full-load torque)

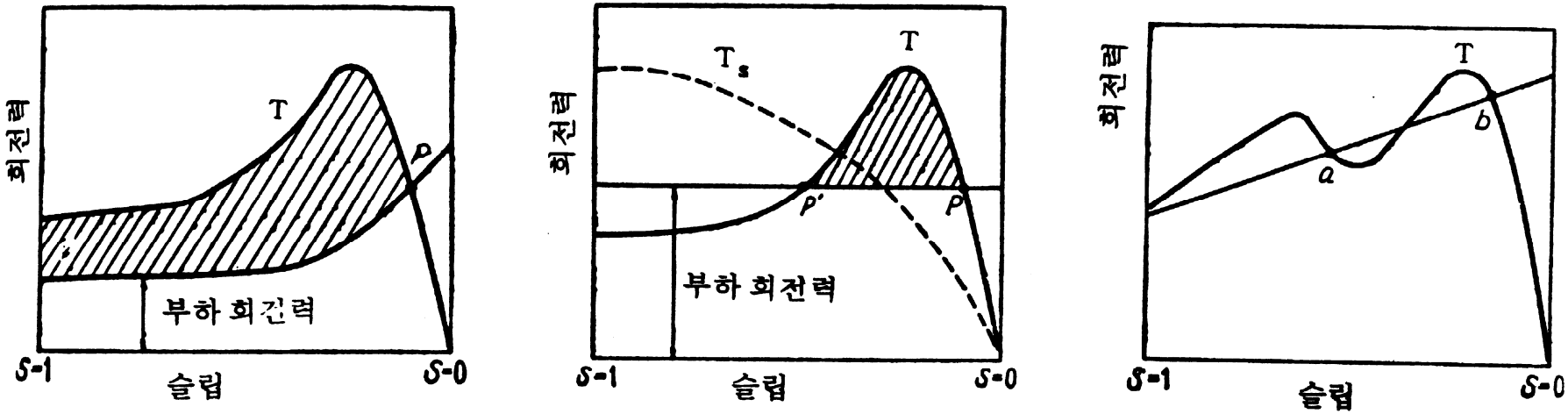
정격 속도에서의 회전력으로 정격 회전력(Rated torque) 이라고도 한다.

⑤가속 회전력(Accelerating torque)

각 회전수에서 모터의 회전력과 부하에 필요한 회전력의 차를 말하고, 가속 회전력이 크면 기동이 빨라진다. 그림에서 빗금친 부분이 가속 회전력으로 , 모터의 회전력과 부하의 회전력이 일치하면 가속 회전력은 0이 되어 일정한 속도로 회전하게 된다.

3)기동

그림12(a)에서 모터의 회전력이 부하 회전력보다 빗금친 부분만큼 크므로, 빗금친 부분이 가속 회전력이 되고 회전속도거 상승하여 P점에 도달한다. 회전속도가 P점에 도달하면 모터의 회전력과 부하 회전력이 같아져 일정속도로 회전하게 된다.



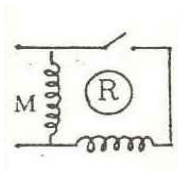
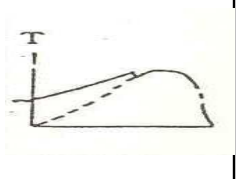
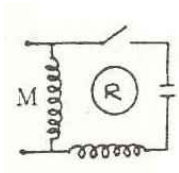
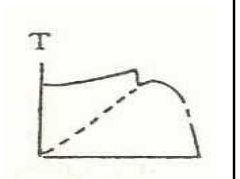
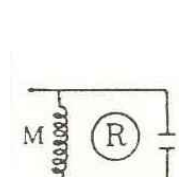
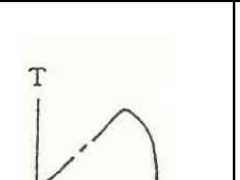
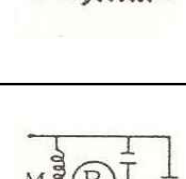
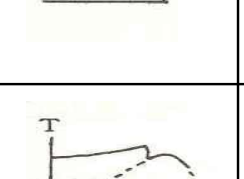
<그림12>유도모터의 운전특성

그림(b)처럼 모터의 기동 회전력이 부하 회전력보다 작으면 모터는 기동되지 않으므로 Ts처럼 기동회전력을 부하 회전력보다 크게 해야 한다. 또한 P ′ 점에서도 운전이 가능할 것 같지만, P ′ 점에서는
안정된 운전을 할 수가 없다. P ′ 점에서 운전되고 있을 때 모터의 회전속도가 떨어지면 부하 회전력은 모터의 회전력보다 크므로 정지하고, 모터의 회전속도가 상승하면 가속 회전력이 작용하여 P점에 도달하게 된다. 그러나 P점에서는 회전속도가 떨어지면 가속 회전력이 생겨 P점으로 되돌아 오고, 회전속도가 상승하면 부하 회전력이 전동기 회전력보다 크므로 회전속도가 떨어져 P점으로 되돌아 오게 된다.
회전자 저항이나 슬롯 수에 이상이 있으면 그림©와 같이 회전력 곡선에 이상이 생긴다. 직선으로 표시된 부하에 대해 운전점은 a, b 2점이 되고, 기동되면 정격속도인 b점에 도달하지 못하고 a점에서 안정된다. 이 경우 모터는 가속되지 못하기 때문에 과열되어 소손될 것이다. 이런 현상을 이상기동 현상 혹은 크롤링(Crawling)이라 한다. 이러한 현상은 공극의 자속밀도가 정현파 형상으로 분포하지 않은 경우에 발생되며 원인으로는

①권선이 Slot의 형상에 따라 되어 있으므로 기자력의 분포가 계단 형상이고 시간적으로 변화한다.
②Slot 부분과 Teeth 부분의 자기저항이 다르므로 공극의 퍼미언스(Permeance) 가 일정하지 않고 위치에 따라 변화한다.

이런 이유로 공극의 자속분포에는 많은 고조파 회전자계가 포함되어 기동시 기동 회전력을 발생되거나 운전시 진동 및 소음을 발생시킨다. 이런 현상을 발생하지 않게 하기위해 Slot의 수를 적절히 선택하거나 회전자 Slot에 경사(Skew)를 두고 있다.

단상유도전동기는 기동방식에 따라 기동특성이 다르므로 부하의 종류에 맞게 선정을 해야 하며, 다음은 기동방식별 특성을 나타낸다.

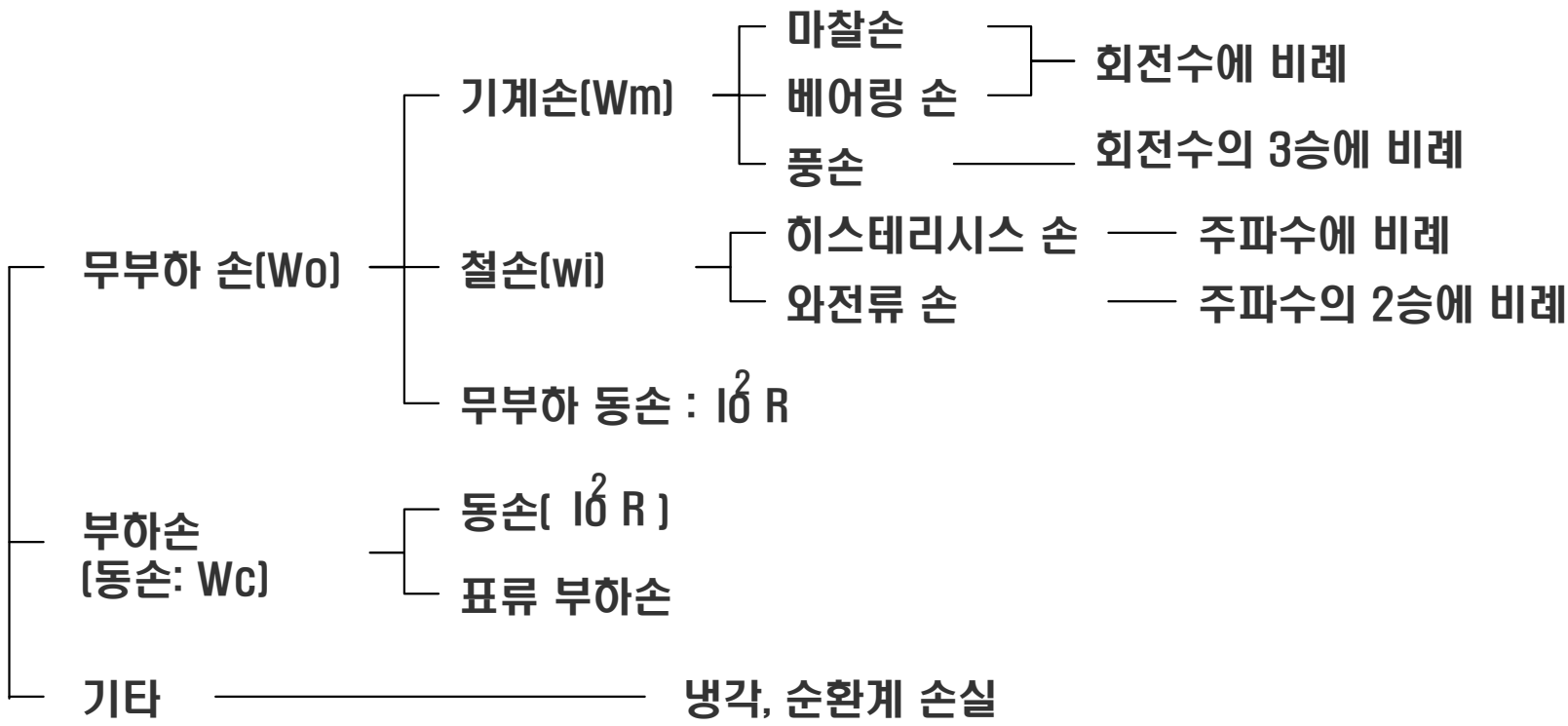
가동방식	출력범위 (W)	회로도	회전력 특성	기동 회전력 (%)	기동 전류 (%)	특 징	용 도
분상 기동형	35~250			125~200	600~800	구조가 간단하여 일반용으로 널리 사용 되고 있다.	공작기 건조기 식품 가공기
Condenser 기 동 형	100~400			200~350	400~500	기동 Torque 비교적 크므로 기동시의 부하가 큰 곳에 사용	Compressor Pump 농사용 기기
Condenser 운 전 형	35~200			50~100	350~400	역률과 효율이 양호하여 기동 Torque가 적은 부하에 사용한다. 특히 원심 S/W가 없어 구조가 간단하다.	가정용 전기기기, 사무기 송풍기
Condenser 기동 Condenser 운 전 형	400~750			250~300	550~600	기동 Torque 크고 운전중의 역률이 좋다.	Compressor 운전 시간이 많은 기기

4)최대출력

회전수와 회전력의 곱에 비례하므로, 최대 회전력이 발생하는 회전수 부근에서 최대 출력이 발생한다.

5)손실과 효율

모터의 손실은 다음과 같이 분류한다.



이들 손실은 열,진동,소음으로 변하고, 모터의 온도상승의 원인이 된다.

출력은 입력에서 손실을 뺀 것이고, 출력의 입력에 대한 비율을 효율이라고 한다.

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

전공에 따라서는 너무 쉽고, 학습할 내용이 없다고 불만이 많을 것으로 생각합니다. 이런 분을 위해 아래의 참고 문헌을 통해 깊이 있는 학습이 될 수 있기를 기대합니다.

<참고 문헌>

1)전동기 기술 Manual: LG전자 모터 사업부
2)圖解 誘導電動機: 일어판
3)誘導機器: 동명사, 박민호
4)알기쉬운 전자강판: LG전자 모터 사업부
5)圖解 モーターの しくみ: 일어판

<문제>

1. 직류회로에서 전류의 흐름을 방해하는 것으로는 ⓐ 이 있고, 교류회로에서는 저항과 ⓑ 가 있다.(2)
   (1) ⓐ저항, ⓑ임피던스 (2) ⓐ저항 ⓑ리액턴스 (3) ⓐ도전율 ⓑ임피던스 (3) ⓐ퍼미언스 ⓑ리럭턴스
2. 절연물의 절연Grade와 최고허용온도를 나타낸 것 중에서 맞지 않은 것은 (3)
   (1) Y--- 90℃ (2)A--- 105℃ (3)E--- 110℃ (4)B--- 130℃
3. 코아의 재료인 규소강판의 기능설명에서 맞지 않은 것은 (1)
   (1)규소강판은 영구적이며, 특성을 개선할 수 있는 자기능력을 가지고 있다.
   (2)전기기기의 에너지 변환에 필요한 자속이 흐르는 자기회로를 구성한다.
   (3)전기적 회로를 구성하는 Magnet wire를 내장한다.
   (4)전기 자기의 중요구성 Body가 된다.
4. Magnet wire에 대해 관련내용 중에서 맞지 않은 것은 (4)
   (1)UEW--- 내열Grade가 가장 낮고 납땜성이 좋으며, 냉장고용 팬모터에 적용중이다.
   (2)RRW/SLRW--- 내열Grade가 가장 높고 compressor의 냉매에 잘 견디는 특성을 갖고 있다.
   (3)Double 코팅의 magnet wire는 base 코팅과 top 코팅으로 구성되어 있고,
      base 코팅은 전기적 절연성에, top 코팅은 기계적인 마모 특성에 좋은 특성을 갖는 재질로 되어 있다.
   (4)Double 코팅 wire는 RRW, SLRW, AI-EIW, PEW가 있다.
5. Fleming의 오른손 법칙과 왼손 법칙에 대해 아는 대로 기술하시오
   해) ①Fleming의 오른손 법칙
      자계내에 있는 도체를 움직이면 기전력이 유기되는데, 이 때 자계를 오른손의 검지방향, 도체를 움직이는 방향을 엄지방향이면 중지방향으로 기전력이 유기되며 각각의 방향은 직각 방향이다.

②Fleming의 왼손 법칙

자계내에 움직일 수 있는 도체에 전류를 흘리면 힘이 발생되는데, 이때 힘의 방향은 왼손의 각각을 직각으로 했을 때 자계의 방향을 검지방향, 도체의 전류방향을 중지방향으로 하면 엄지방향으로 힘이 발생한다.

6.유도모터는 회전자계와 동일한 속도로 회전(슬립=0)하면 회전력이 발생하지 않는다. 이유에 대해 설명하시오.

해) 자속의 변화가 없으면 와전류가 생기지 않기 때문입니다. 즉 Fleming의 왼손법칙에서 자계가 있는 공간에 도선에 전류를 흘려주어야 힘이 발생됩니다. 이때 전류는 Fleming의 오른손 법칙에 의해 발생되는데 자계중에 있는 도선을 움직여 주어야 기전력이 유기되나 회전자계와 동일속도로 움직이는 것은 도선이 움직이지 않은 것과 같으므로 와전류가 발생되지 않는다.

7.전원이 220V/60Hz지역에서 단상, 300W의 모터가 슬립 5%로 운전하고 있을 때 모터의 회전속도는 (1)

(1) 3420 rpm (2) 3460 rpm (3) 3000 rpm (4) 3480 rpm

해) $N=No(1-S)=\frac{120*f}{P}(1-S)=3420\ [rpm]$