

본 사이트에서 수업 자료로 이용되는 저작물은 **저작권법 제25조 수업목적저작물 이용 보상금제도에** 의거, **한국복제전송저작권협회와 약정을 체결하고** 적법하게 이용하고 있습니다. 약정범위를 초과하는 사용은 저작권법에 저촉될 수 있으므로 **수업자료의 대중 공개·공유 및 수업 목적 외의 사용을 금지합니다.**

2014. 03. 24.

동아대학교·한국복제전송저작권협회

직류기

1. 직류기의 구조 및 원리 (Structure and Principle of DC machine)
2. 토크 및 유도기전력 (Torque and induced voltage)
3. 전기자 반작용과 정류 (Armature reaction and commutation)
4. 직류기의 종류 및 특성 (Classification and characteristics of DC machine)
5. 기동법 (Starting method of DC machine)
6. 타여자 및 분권전동기의 속도제어 (Speed control of separately excited and shunt motor)

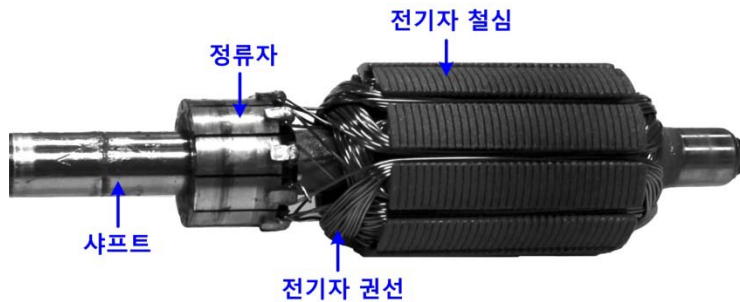
1. 직류기의 구조 및 원리

(1) 직류기의 구조

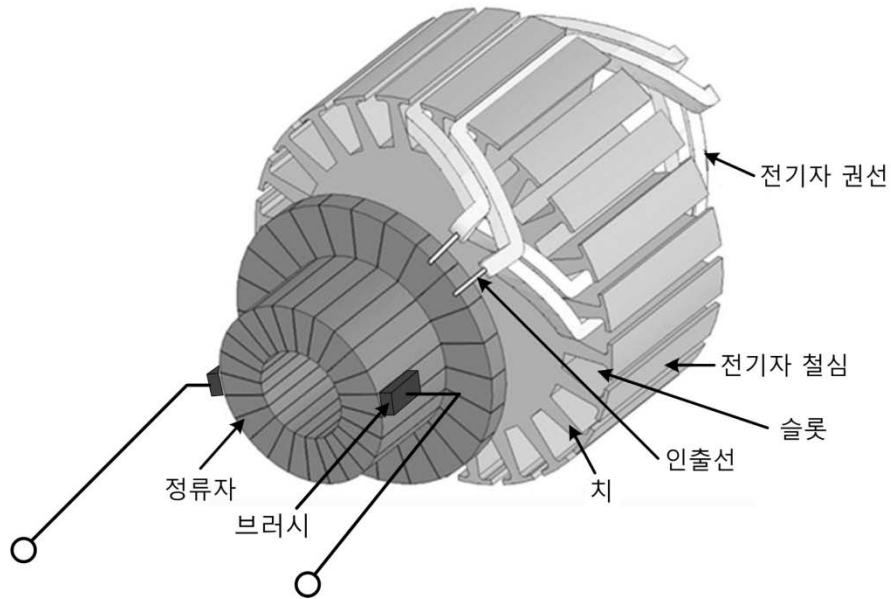
① 계자 (field) : 자속을 발생시키는 부분



② 전기자 (armature) : 전기에너지를 소비(전동기)또는 발생(발전기)하는 부분

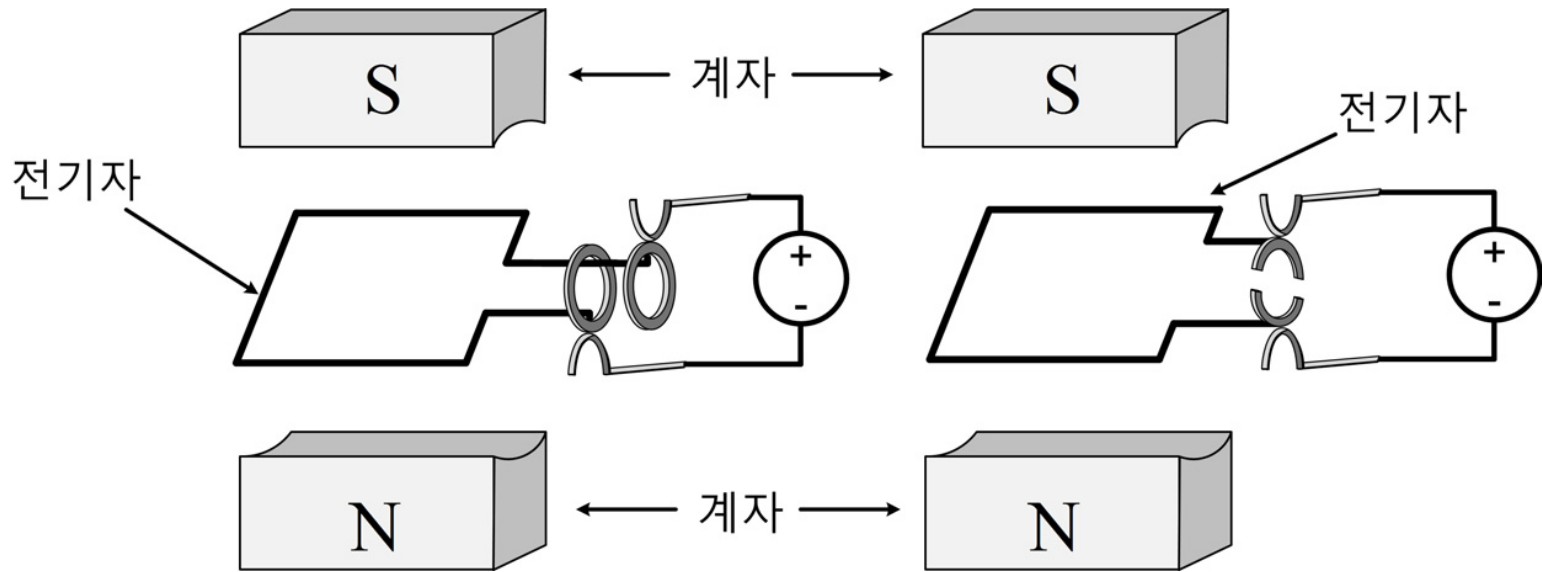


③ 브러시와 정류자



- 브러시(brush)와 슬립링 (slip ring) :

- 브러시(brush)와 정류자 (commutator) :

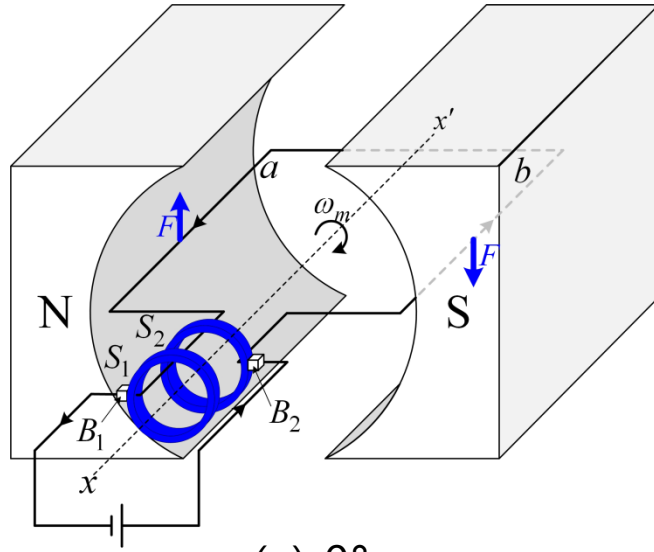


브러시-슬립링의 구조

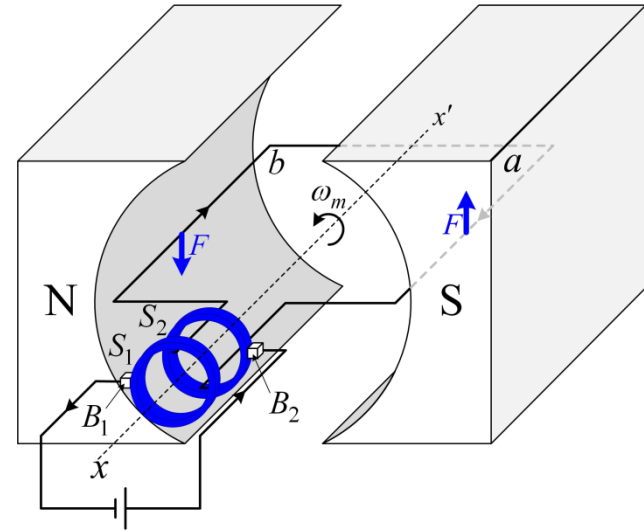
브러시-정류자의 구조

(2) 직류기의 원리

1) 직류전동기의 원리



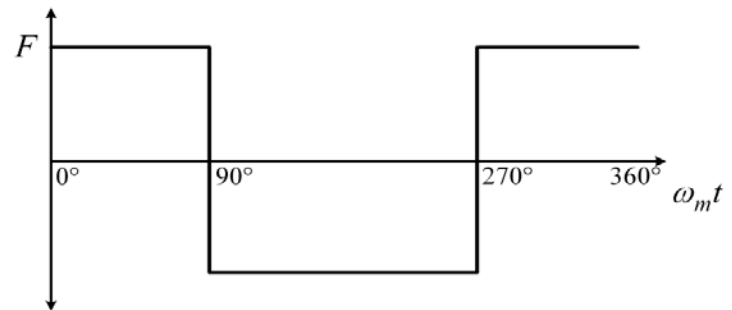
(a) 0°



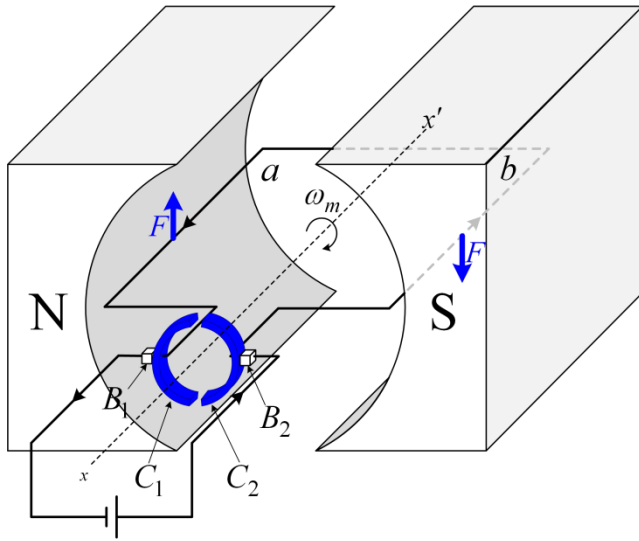
(b) 180°

$$F = 2NBli_a \text{ [N]}$$

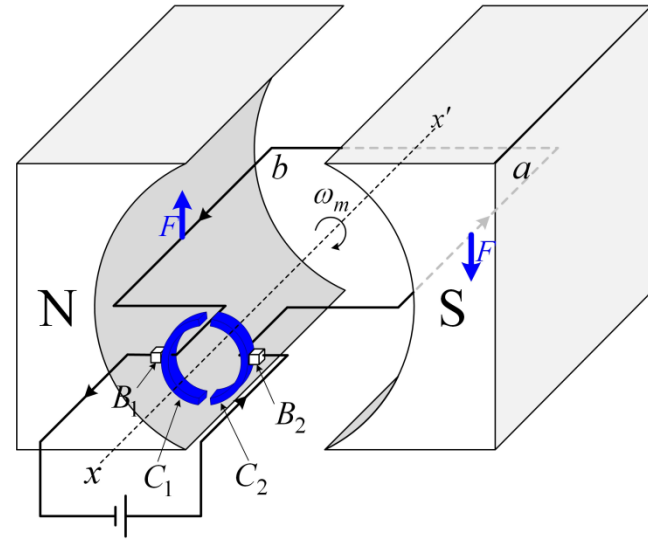
$$T = 2NBli_a r \text{ [Nm]}$$



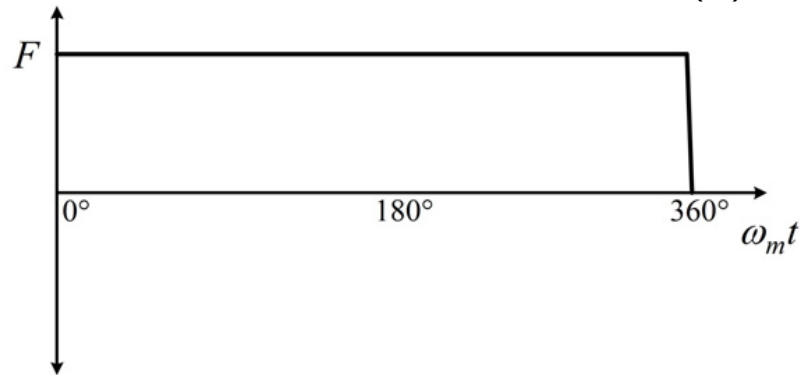
전동기에서 슬립링과 브러시의 역할



(a) 0°

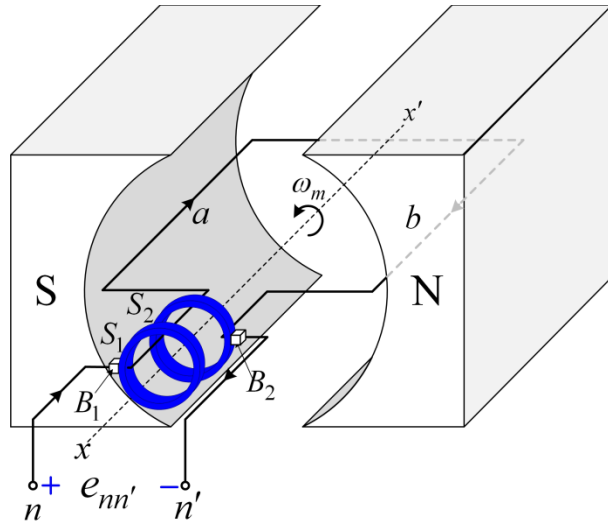


(b) 180°

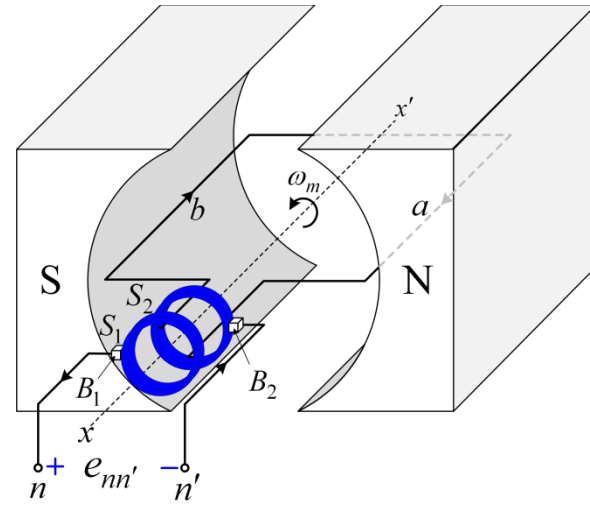


전동기에서 정류자와 브러시의 역할

2) 직류발전기의 원리



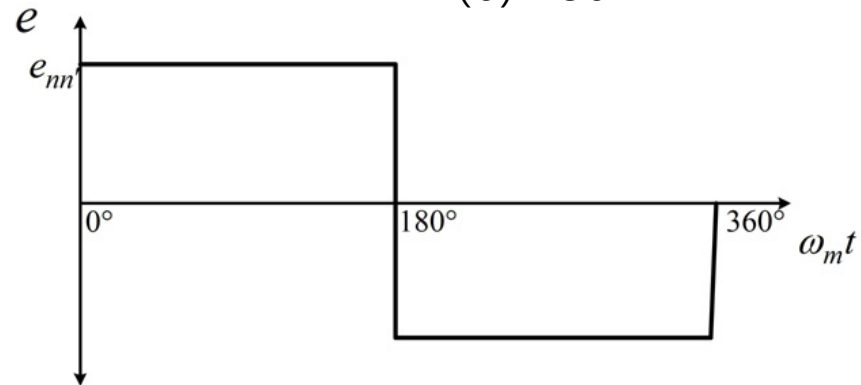
(a) 0°



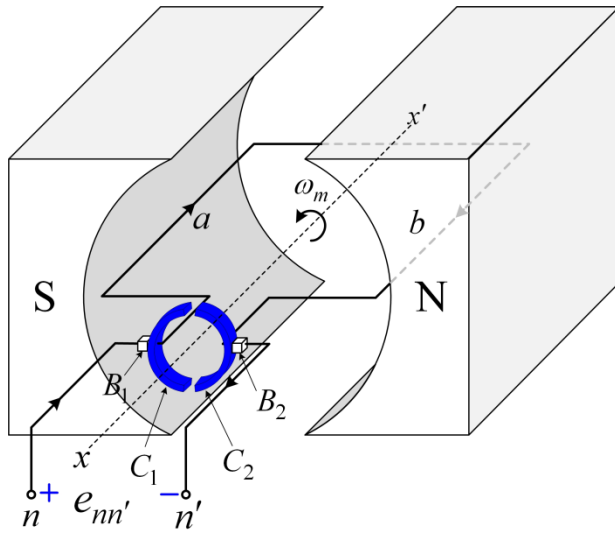
(b) 180°

유도기전력

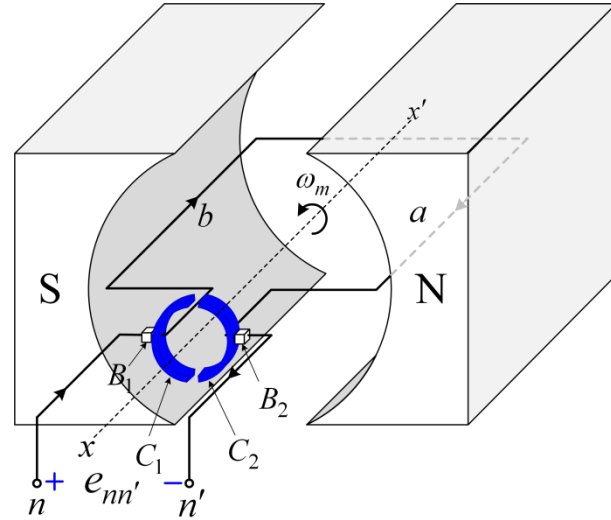
$$e_{nn'} = 2NBlv \text{ [V]}$$



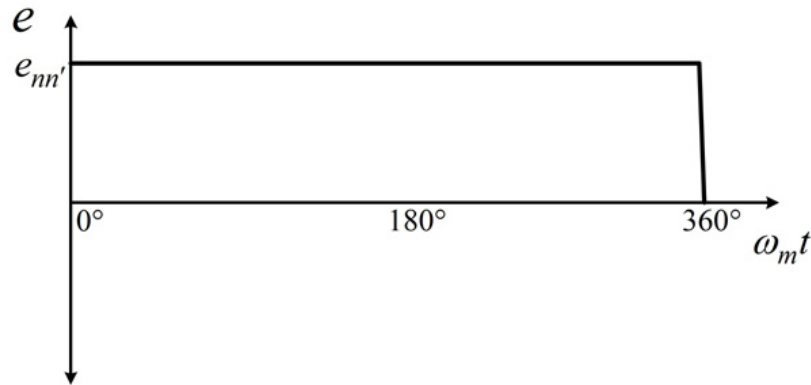
발전기에서 슬립링과 브러시의 역할



(a) 0°



(b) 180°

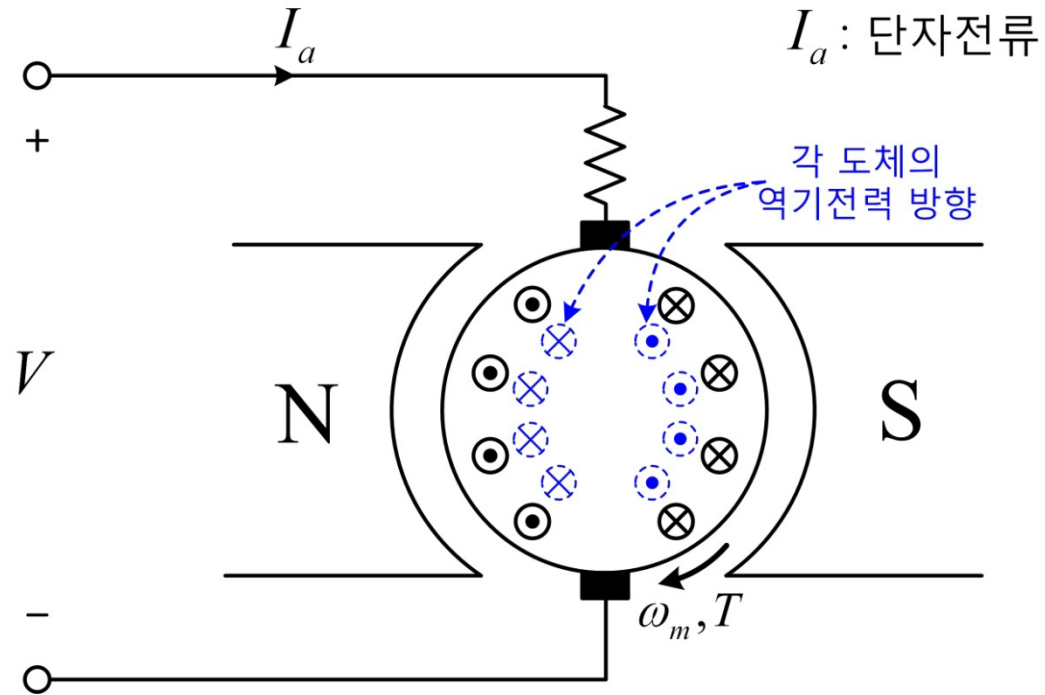


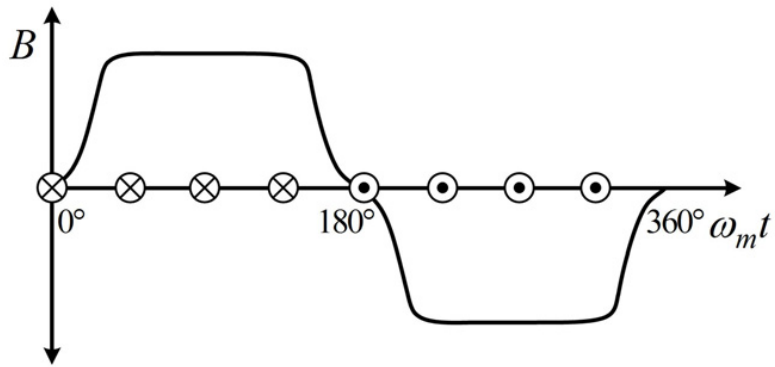
유도기전력

발전기에서 브러시와 정류자의 역할

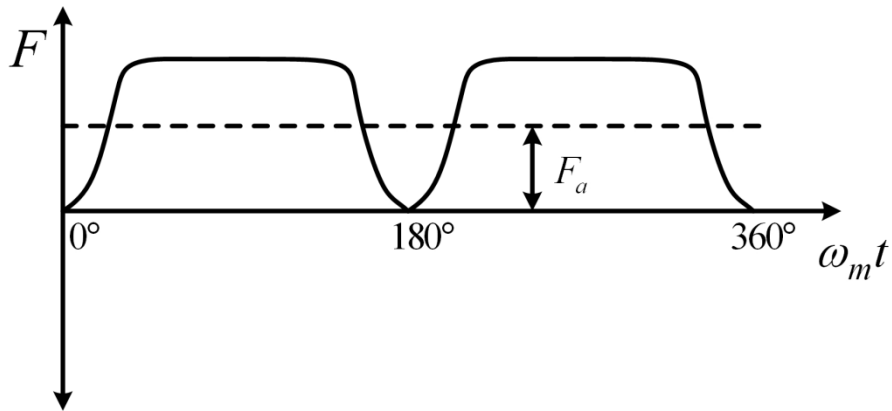
2. 토크 및 유도기전력

(1) 토크

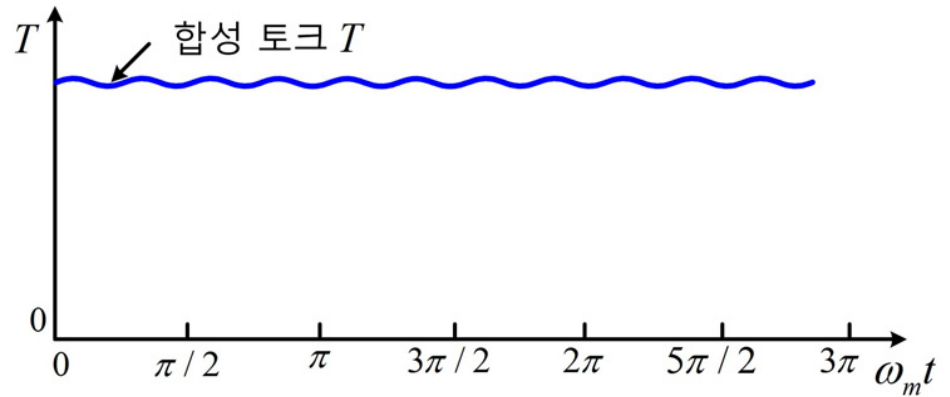
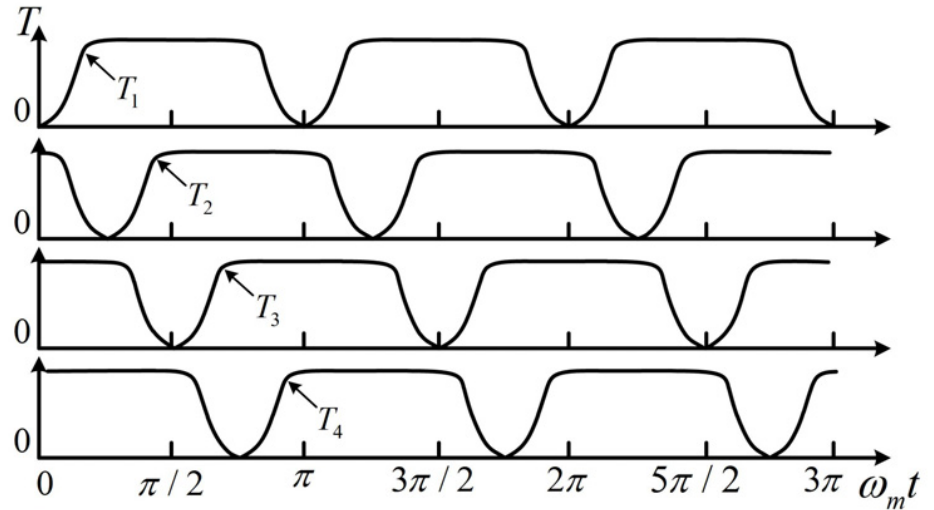




(a)공극에서의 자속분포



(b)1개의 코일이 받는 힘



(c)각 코일이 받는 힘과 합성토크

① 코일 1개에 발생하는 평균 토크

- 코일에 작용하는 힘의 평균값

$$F_a = \frac{1}{\tau_p} \int_0^{\tau_p} F dx = 2N\ell i_a \frac{1}{\tau_p} \int_0^{\tau_p} B dx = 2NB_a\ell i_a \quad [N] \quad (1)$$

$$i_a = \frac{I_a}{a} \quad [A] \quad (2)$$

- 코일 1개당 발생하는 평균 토크

$$\tau_a = r F_a = \frac{2rNB_a\ell I_a}{a} \quad [N \cdot m] \quad (3)$$

N

ℓ

I_a

i_a

a

B_a

r

② 모든 코일에서 발생하는 총토크

$$T = N_c \times \tau_a = \frac{Z}{2N} \times \frac{P\tau_p}{2\pi} \times \frac{\phi}{\tau_p \ell} \times \frac{2N\ell I_a}{a}$$

$$= \frac{PZ}{2\pi a} \phi I_a [N \cdot m]$$

$$= K_T \phi I_a [N \cdot m]$$

(3)

$$\therefore \left(N_c = \frac{Z}{2N} \right), \quad (2\pi r = P\tau_p), \quad \left(B_a = \frac{\phi}{\tau_p \ell} \right)$$

N_c

Z

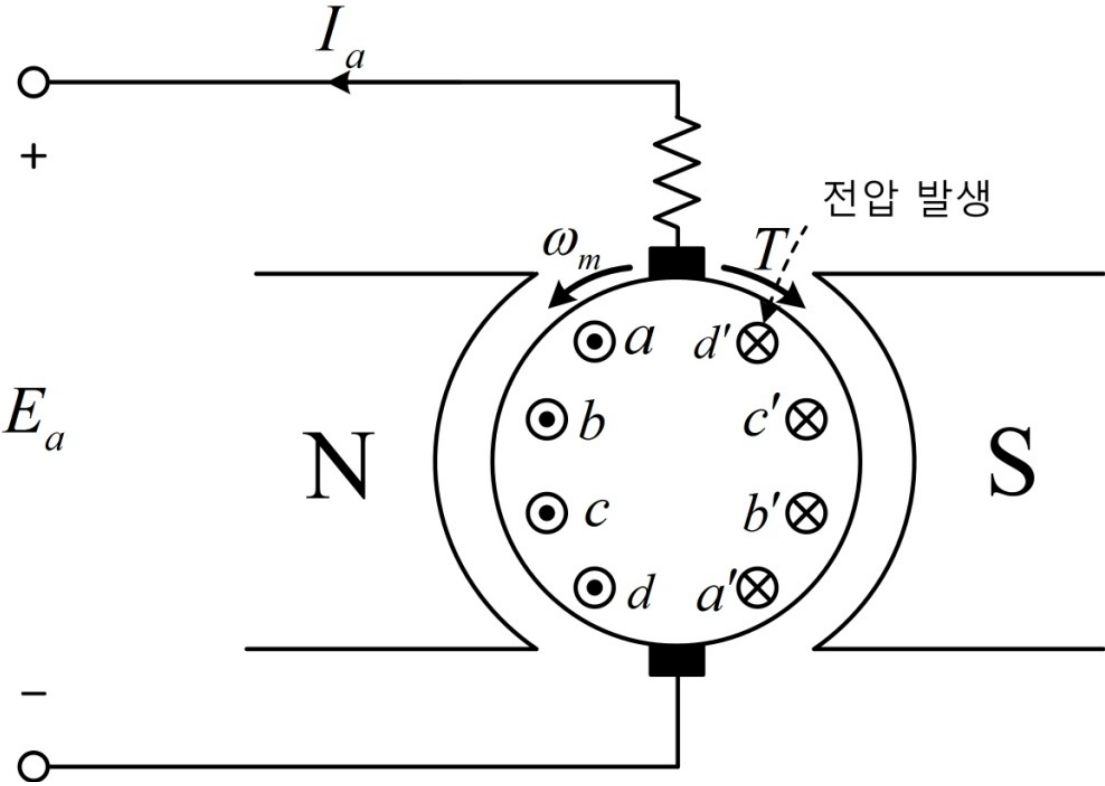
P

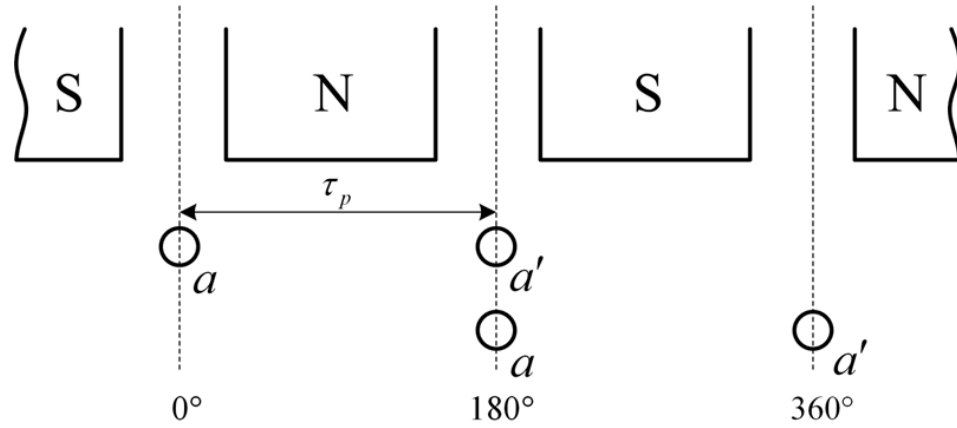
τ_p

ϕ

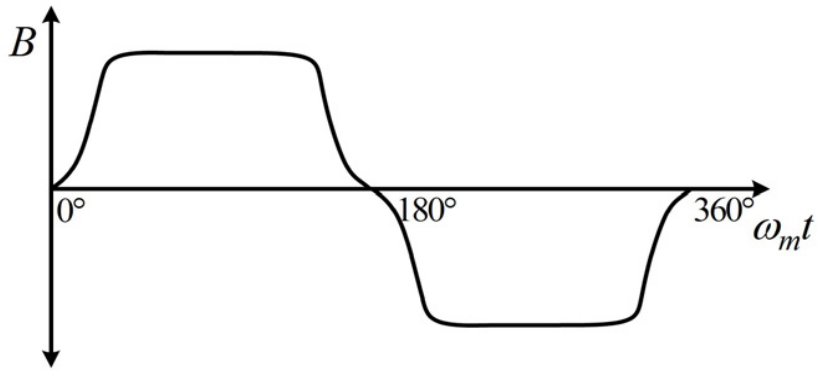
K_T

(2) 유도기전력

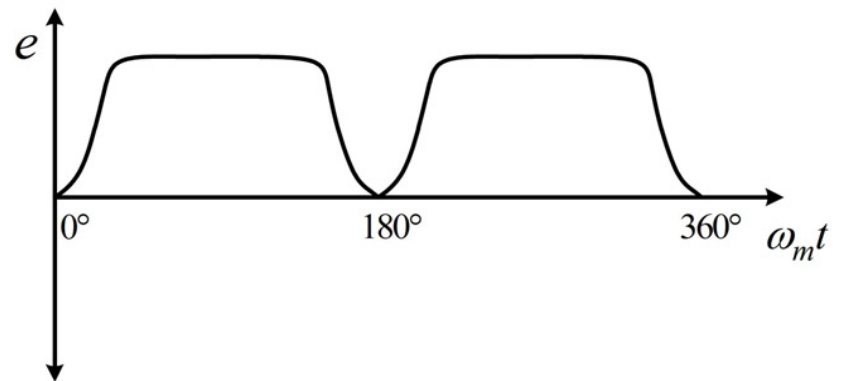




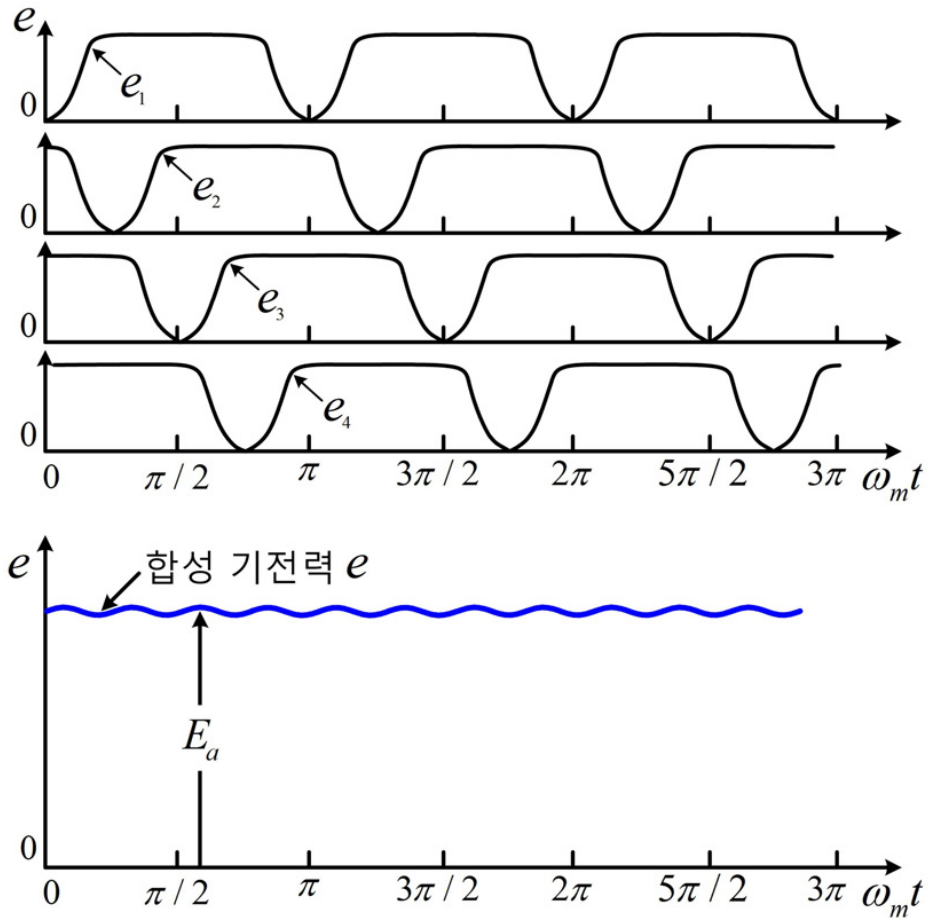
(a)자극 내에 있는 1개의 코일



(b)공극에서의 자속분포



(c)1개의 코일에 유도되는 유도기전력



(d) 각 코일에서 유도되는 유도기전력과 합성기전력

① 코일 1개에 발생하는 평균 유도기전력

$$e_a = \frac{1}{\tau_p} \int_0^{\tau_p} e \, dx = 2N\ell v \frac{1}{\tau_p} \int_0^{\tau_p} B \, dx = 2NB_a \ell v \quad [V] \quad (4)$$

$$v = r \omega_m = \frac{P \tau_p}{2\pi} [m/s] \quad B_a = \frac{\phi}{\tau_p \ell} [T] \quad (5)$$

(5) -> (4)

$$e_a = \frac{P}{\pi} N \phi \omega_m [V] \quad (6)$$

N : 코일당 턴수

ℓ : 전동기 축방향 길이 [m]

v : 코일의 주변속도 [m/s]

ω_m : 코일의 각속도 [rad/s]

P : 극수

B_a : 극당 평균 자속밀도 [T]

τ_p : 극간격 [m]

ϕ : 극당 자속량 [wb]

② 모든 코일에서 발생하는 전체 유도기전력

$$\begin{aligned} E_a &= e_a \frac{N_c}{a} = e_a \frac{Z}{2N} \frac{1}{a} = \frac{PZ}{2\pi a} \phi \omega_m \\ &= K_e \phi \omega_m \text{ [V]} \end{aligned} \tag{7}$$

$$\therefore \left(N_c = \frac{Z}{2N} \right) \quad \left(\frac{N_c}{a} = \frac{Z}{2Na} \right)$$

코일수 직렬 코일수

N_c : 코일수

Z : 전기자 총도체수

a : 병렬회로수

K_e : 역기전력 상수 [V/(rad/s)]

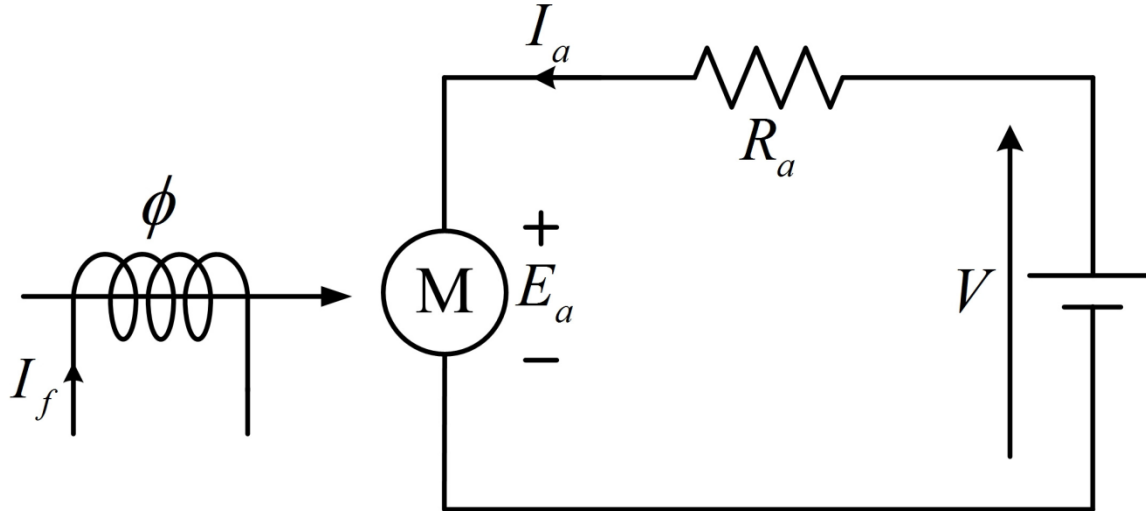
ϕ : 극당 자속 [wb]

From (3) and (7)

$$K_t = K_e = \frac{PZ}{2\pi a} \tag{8}$$

(3) 직류기의 등가회로와 에너지 흐름

1) 직류전동기



$$V = R_a I_a + E_a \text{ [V]}$$

$$I_a = \frac{V - E_a}{R_a} \text{ [A]}$$

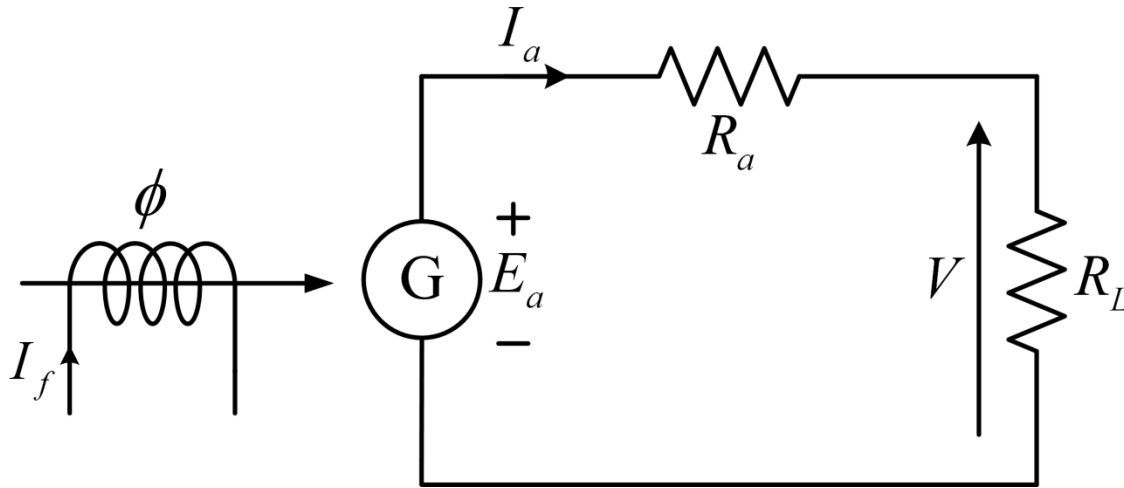
(9)

$$V I_a = R_a I_a^2 + E_a I_a \text{ [W]}$$

$$V I_a - R_a I_a^2 = E_a I_a = T \omega_m \text{ [W]}$$

$$E_a I_a - \text{기계적손실} = \text{축출력}$$

2) 직류발전기



$$E_a = R_a I_a + V \quad [V]$$

$$I_a = \frac{E_a - V}{R_a} \quad [A]$$

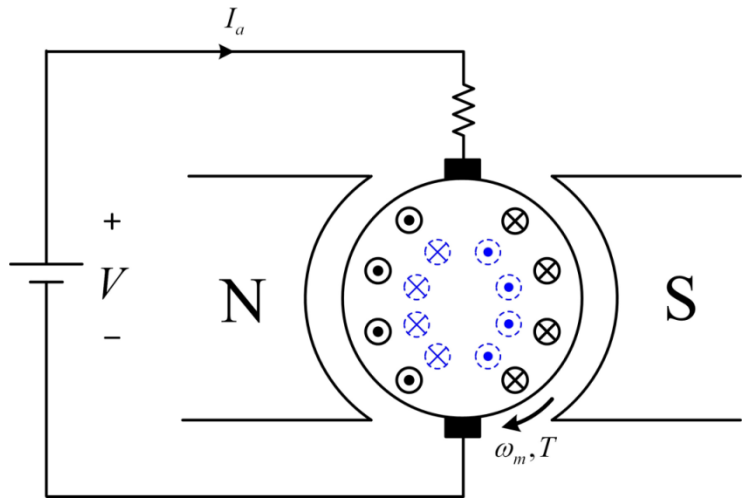
(10)

$$E_a I_a = R_a I_a^2 + V I_a \quad [W]$$

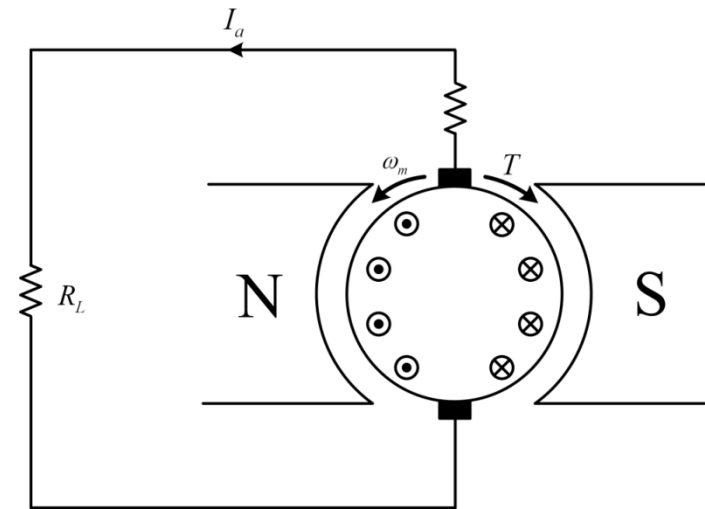
$$T \omega_m = K_a \phi I_a \omega_m = E_a I_a \quad [W]$$

3. 전기자 반작용 (armature reaction) 과 정류 (commutation)

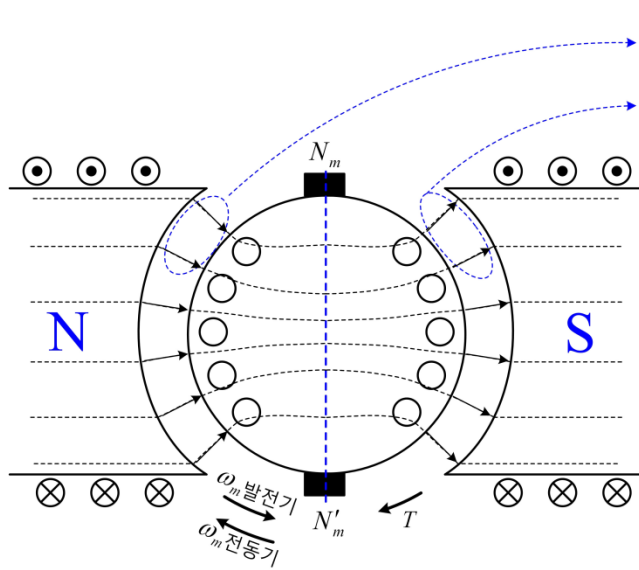
(1) 전기자 반작용



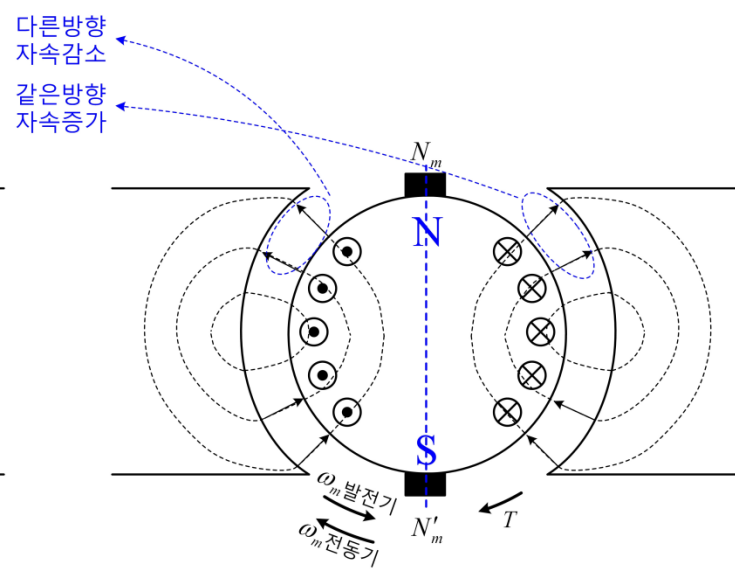
직류 전동기



직류 발전기

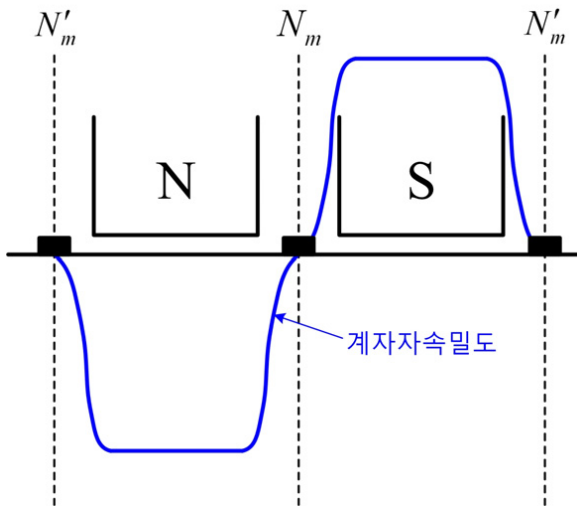


계자 기자력에 의한 자속

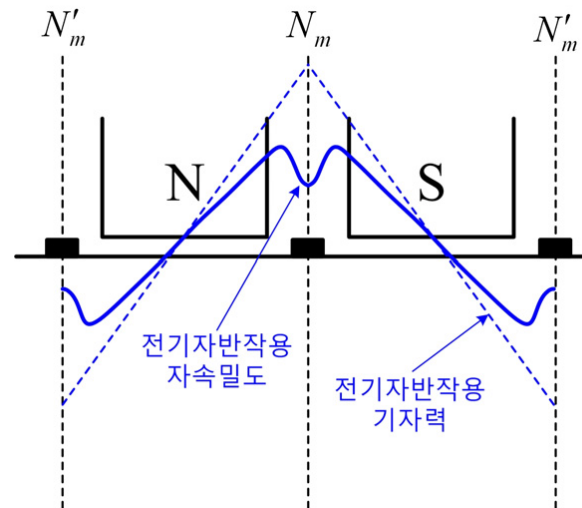


전기자 기자력에 의한 자속

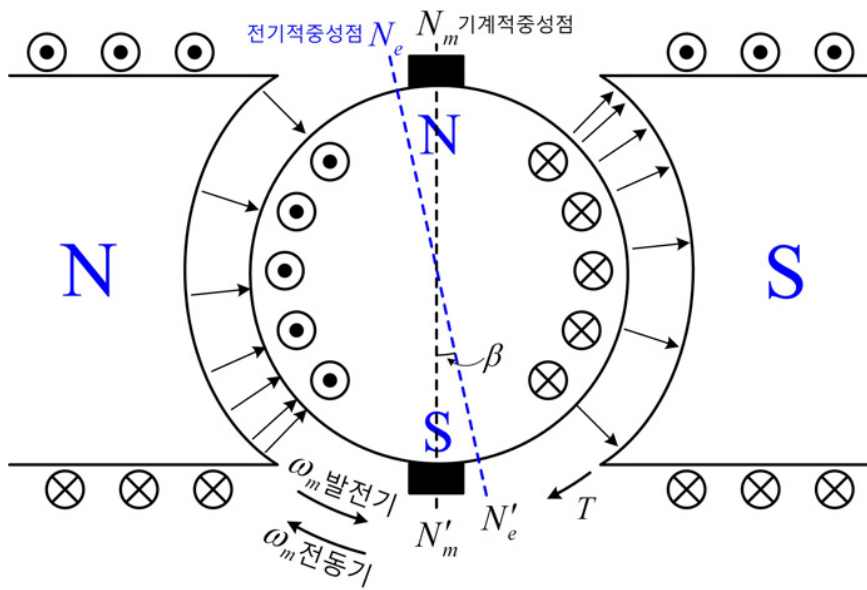
다른방향
자속감소
같은방향
자속증가



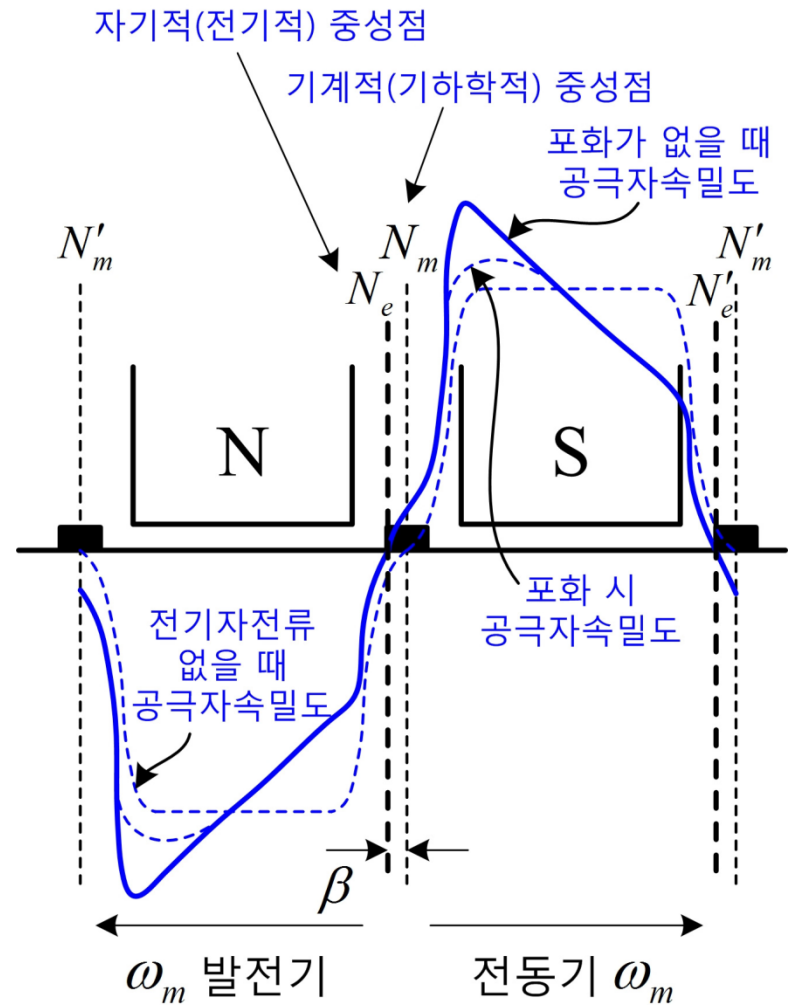
계자 기자력에 의한 자속밀도 분포



전기자 기자력에 의한 자속밀도 분포



합성 기자력에 의한 자속밀도 분포

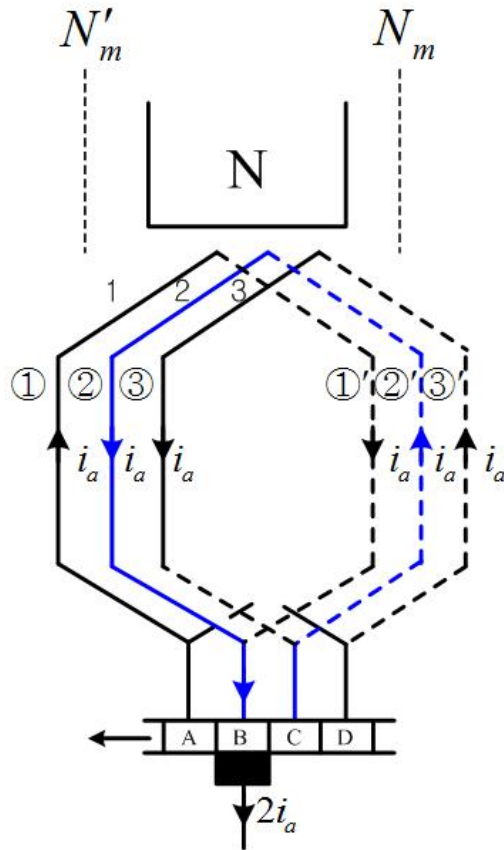


❖ 전기자 반작용의 영향

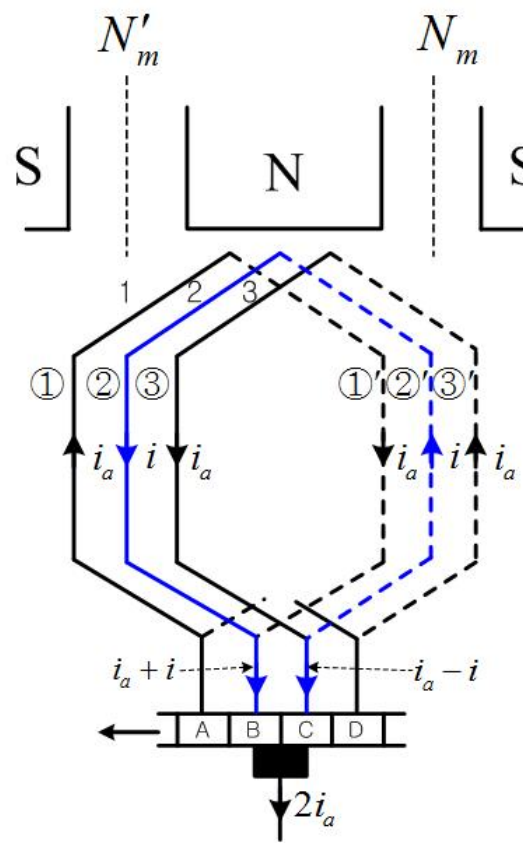
1. 자기적 중성점의 이동 :

2. 자기포화현상에 의한 공극자속의 감소

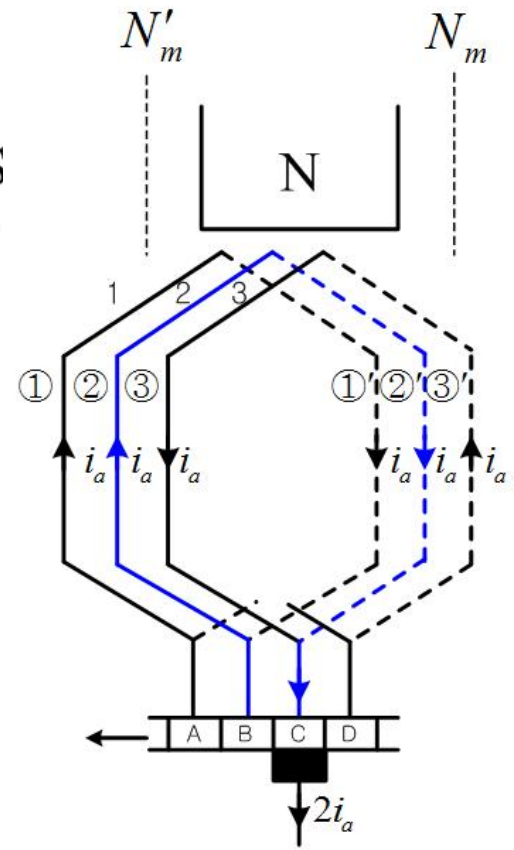
(2) 정류 (commutation)



정류전

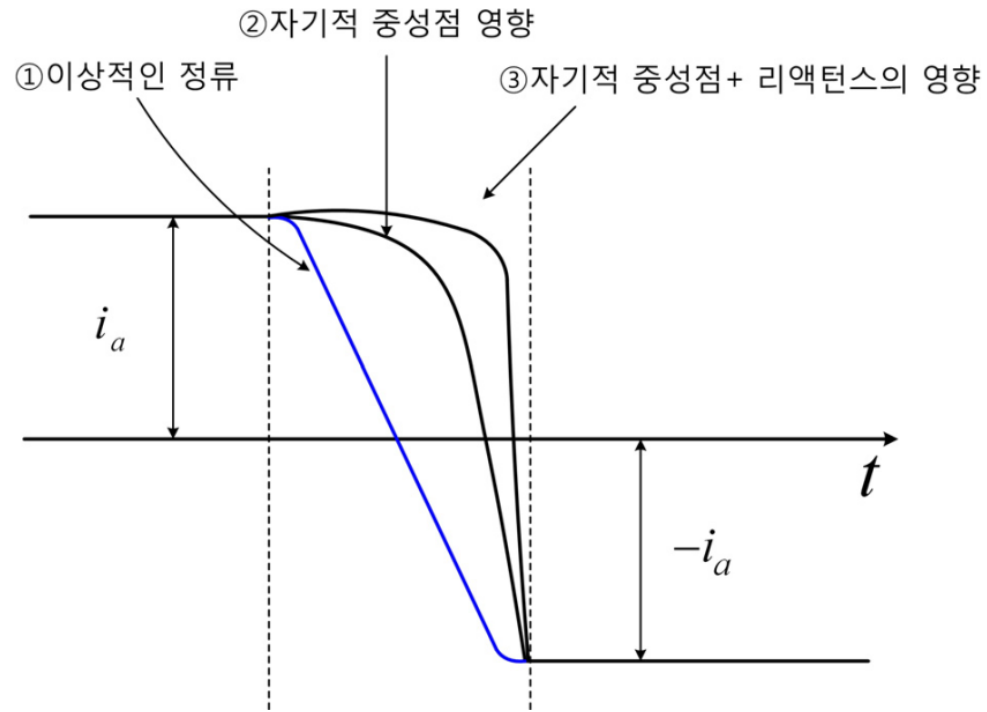


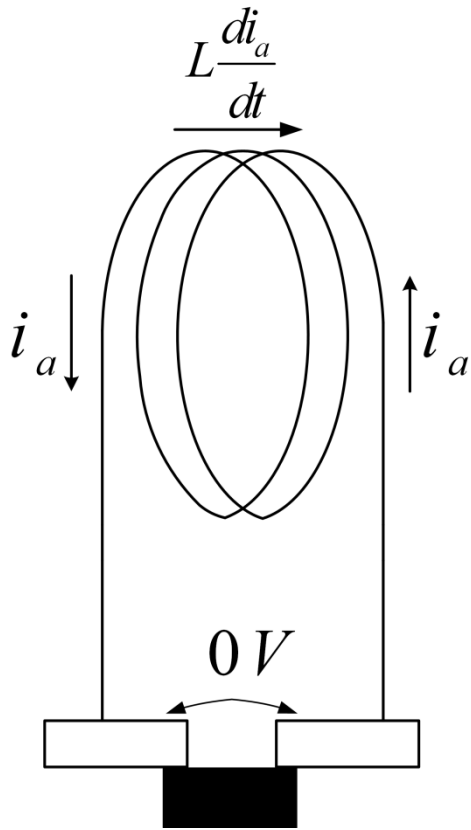
정류중



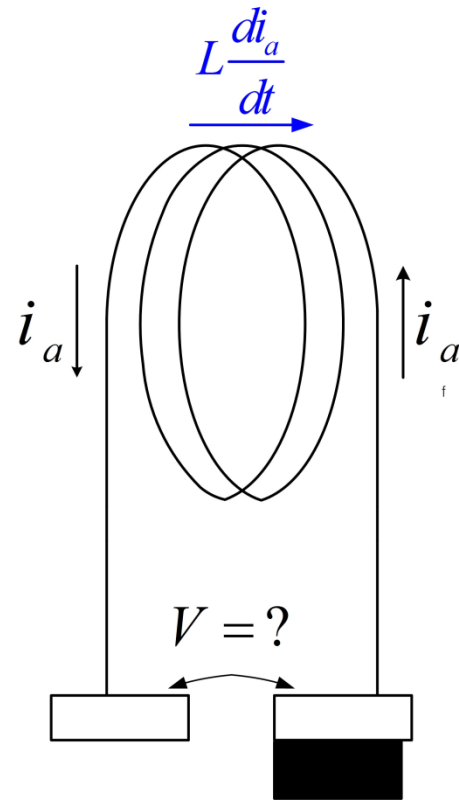
정류후

1) 정류곡선



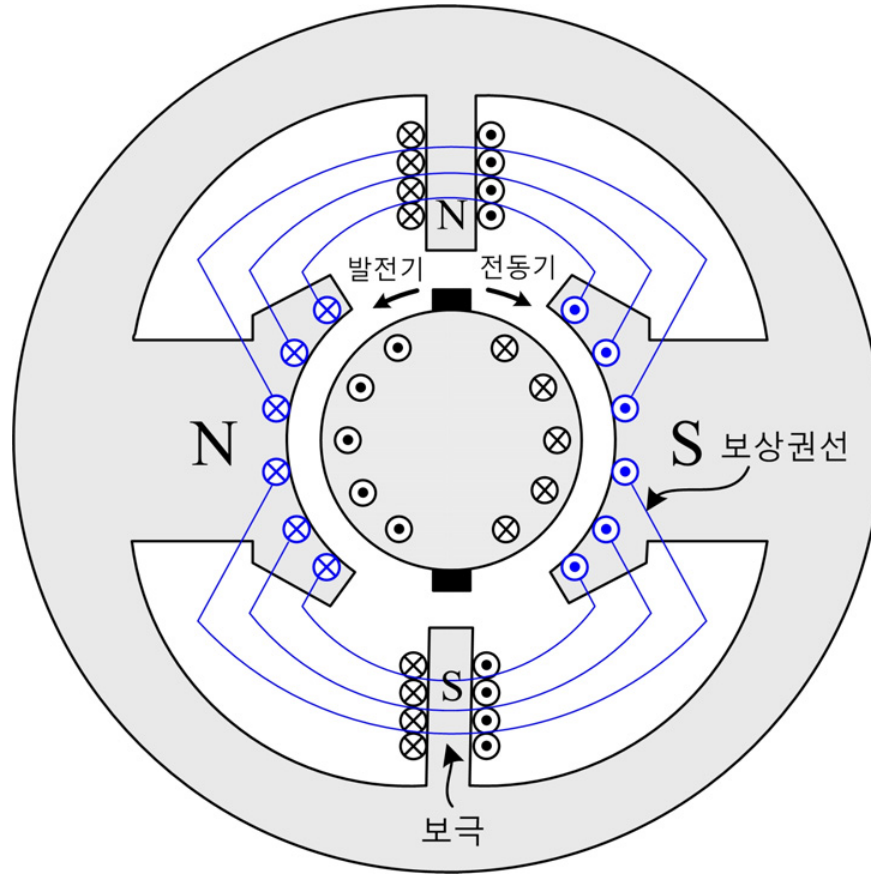


브러시에 의해 단락되었을 때

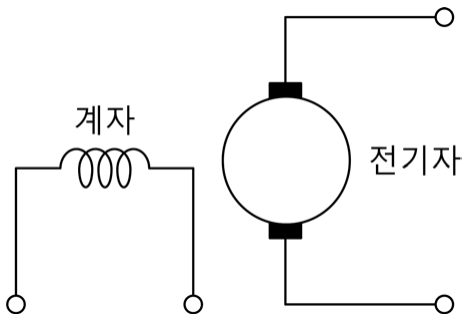
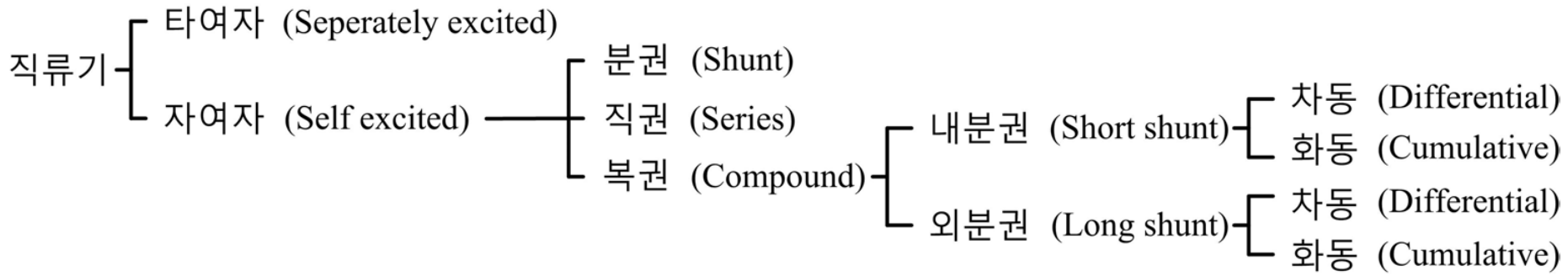


브러시가 이탈할 때

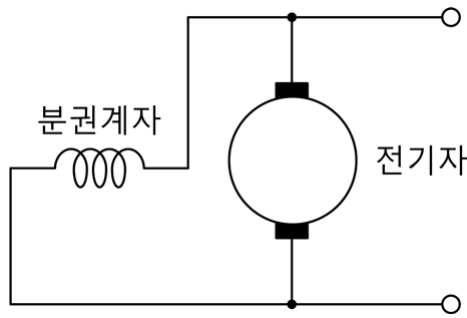
③ 보상 권선



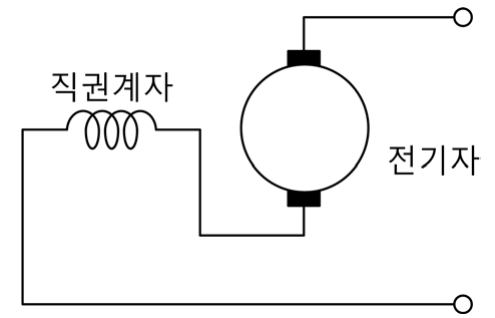
4. 직류기의 종류 및 특성



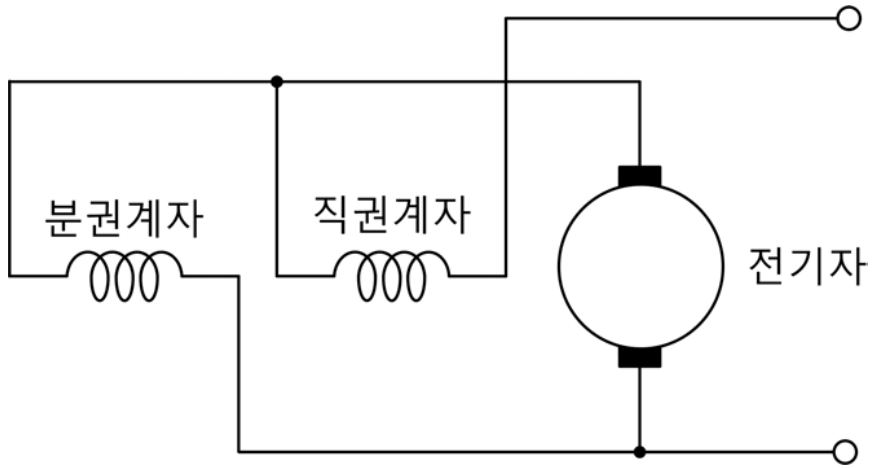
타여자



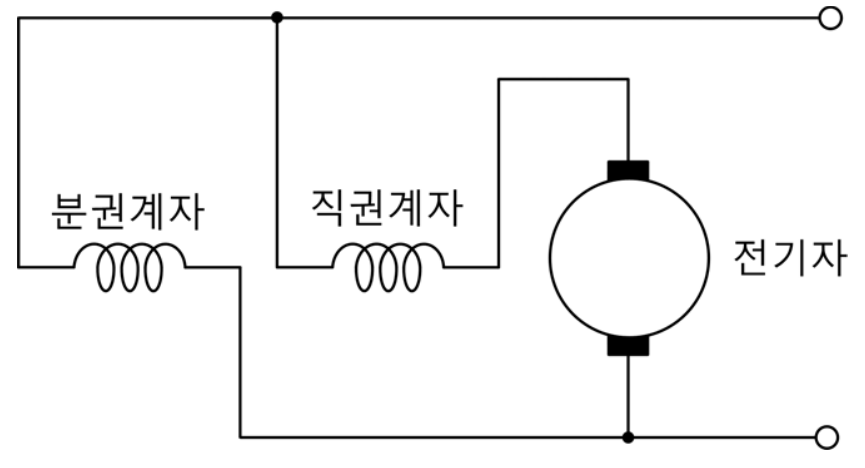
자여자 분권



자여자 직권



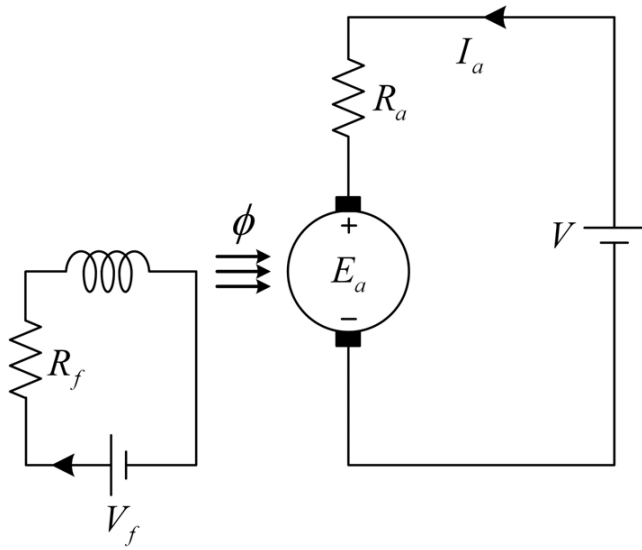
내분권 (화동, 차동)



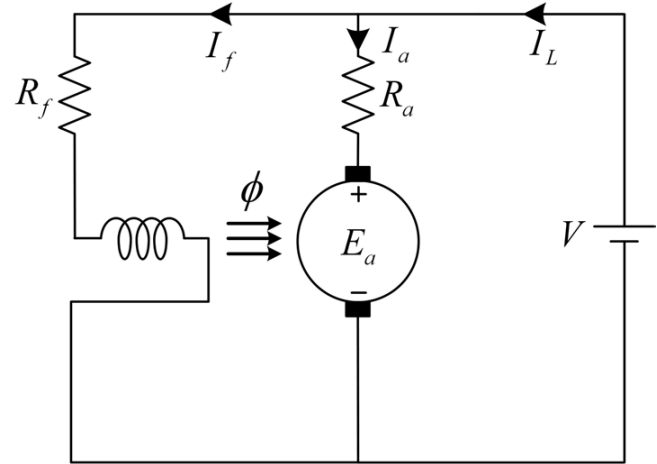
외분권 (화동, 차동)

(1) 직류 전동기

1) 타여자 전동기와 분권 전동기



타여자 전동기의 등가회로



분권 전동기의 등가회로

① 특성방정식

- 전압방정식

$$V = R_a I_a + E_a \text{ [V]}$$

- 유도기전력

$$E_a = K_a \phi \omega_m \text{ [V]}$$

- 토크

$$T = K_a \phi I_a \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (11)$$

② 속도-전류 특성곡선

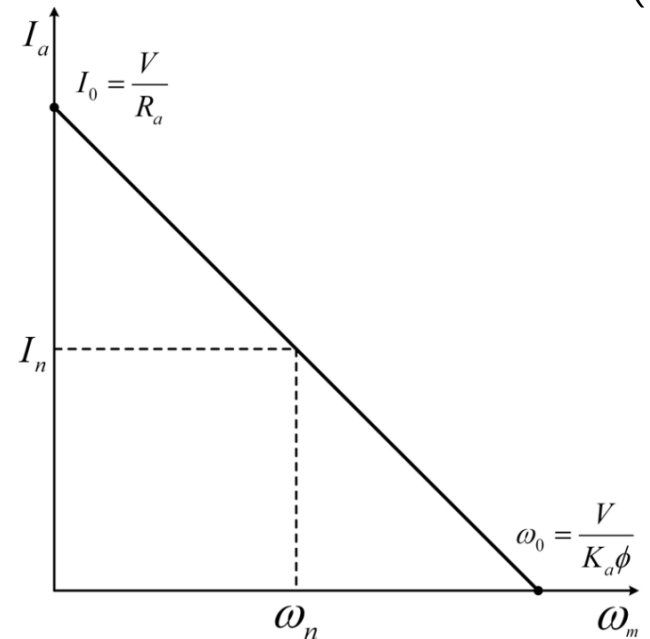
$$\therefore I_a = \frac{V - E_a}{R_a} = \frac{V - K_a \phi \omega_m}{R_a} \text{ [A]} \quad (12)$$

- 무부하속도 ($T = 0 \Rightarrow I_a = 0$)

(13)

- 기동전류 ($\omega_m = 0$)

(14)



③ 속도-토크 특성곡선

$$V = R_a I_a + E_a \text{ [V]} \tag{15}$$

$$I_a = \frac{T}{K_a \phi} \text{ [A]} \quad E_a = K_a \phi \omega_m \text{ [V]} \tag{16}$$

(16) -> (15)

$$V = R_a \frac{T}{K_a \phi} + K_a \phi \omega_m$$

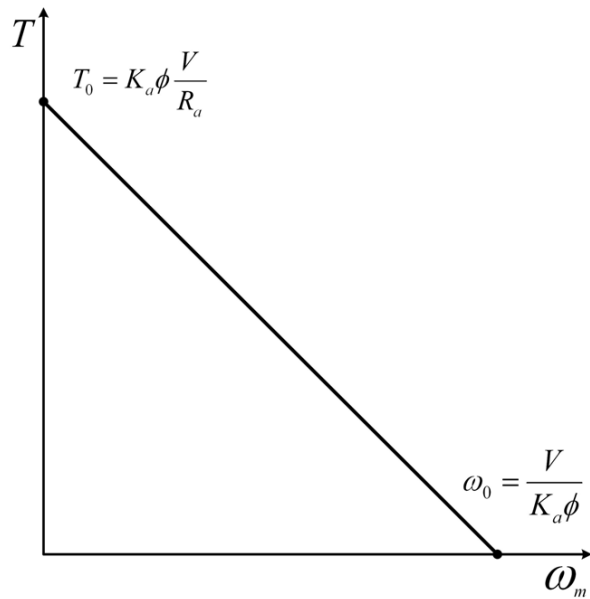
$$\therefore T = K_a \phi \frac{V}{R_a} - \frac{(K_a \phi)}{R_a} \omega_m \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

• 무부하속도 ($T = 0 \Rightarrow I_a = 0$)

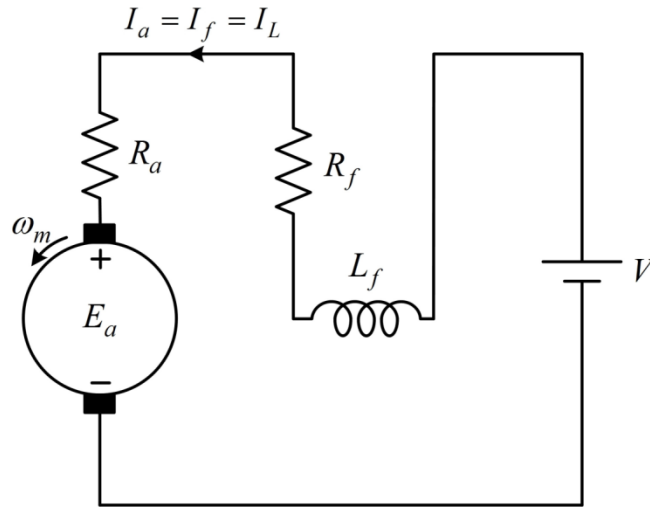
(17)

• 기동토크 ($\omega_m = 0$)

(18)



2) 직권 전동기



직권 전동기의 등가회로

① 특성방정식

- 전압방정식

$$V = I_a(R_a + R_f) + E_a \text{ [V]}$$

- 자속

$$\phi = cI_a \text{ [wb]}$$

- 토크

$$T = K_a \phi I_a = K_a c I_a^2 \text{ [N}\cdot\text{m]} \quad (19)$$

(2) 직류 발전기

❖ 직류 발전기 일반

- 전기자 권선에 유도되는 기전력

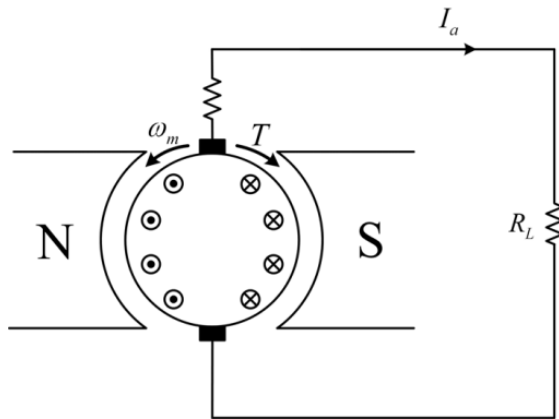
$$E_a = K_a \phi \omega_m \text{ [V]}$$

- 자속

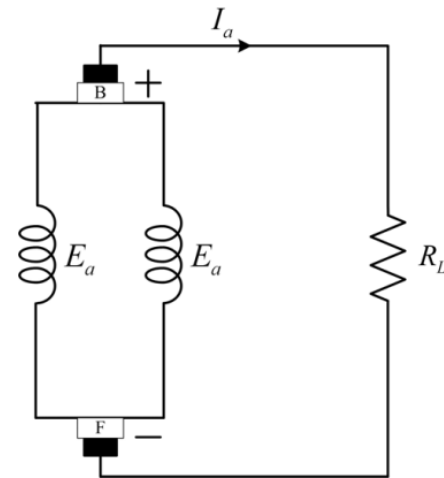
$$\phi = \phi(I_f, I_a) \text{ [Wb]}$$

- 부하전류가 흐를 시 부하에 걸리는 단자전압

$$V = E_a - R_a I_a \text{ [V]}$$

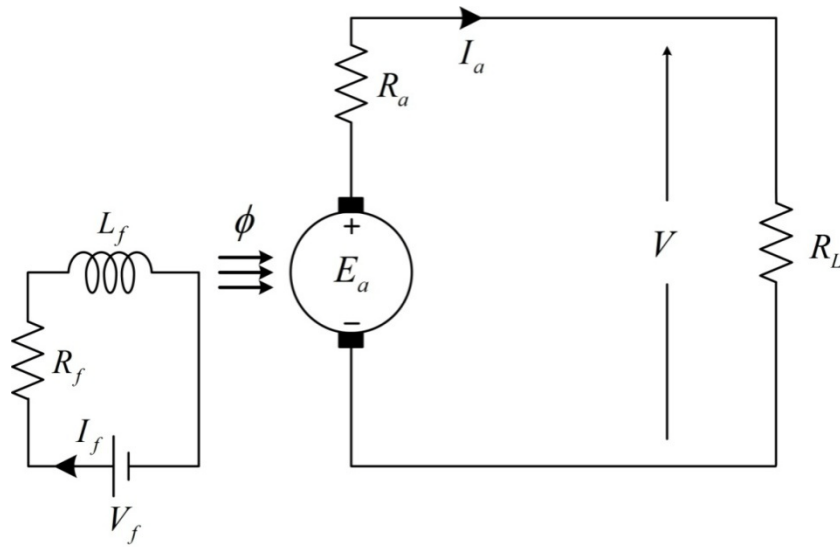


직류발전기에서 회전방향과 토크



직류발전기의 등가회로

1) 타여자 발전기



타여자 발전기의 등가 회로 (정상상태)

① 무부하 특성곡선 ($I_a = 0$)

- 무부하 기전력

$$E_0 = K_a \phi \omega_m [V]$$

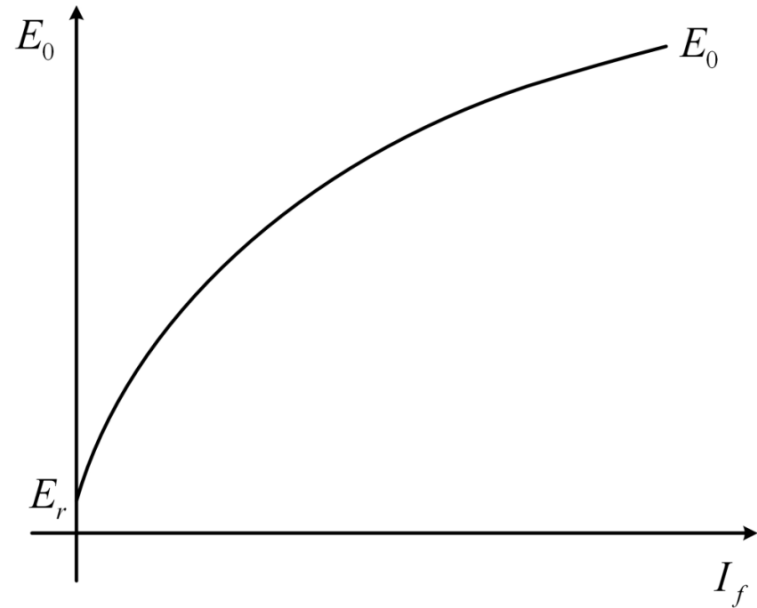
- 계자자속

$$\phi = P_m N_f I_f [Wb]$$

P_m : 퍼미언스

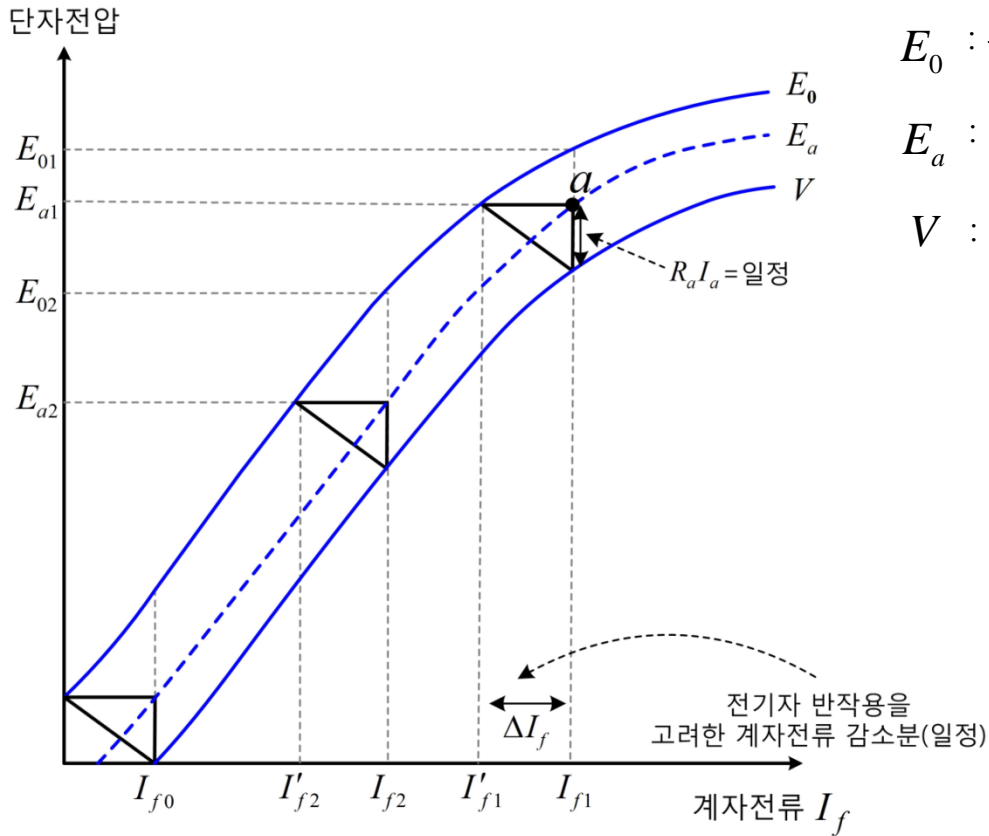
N_f : 계자권선의 턴수

I_f : 계자전류



E_r : 강자성체의 잔류자속에 의한 유도기전력

② 부하 특성곡선



E_0 : 무부하 유도기전력

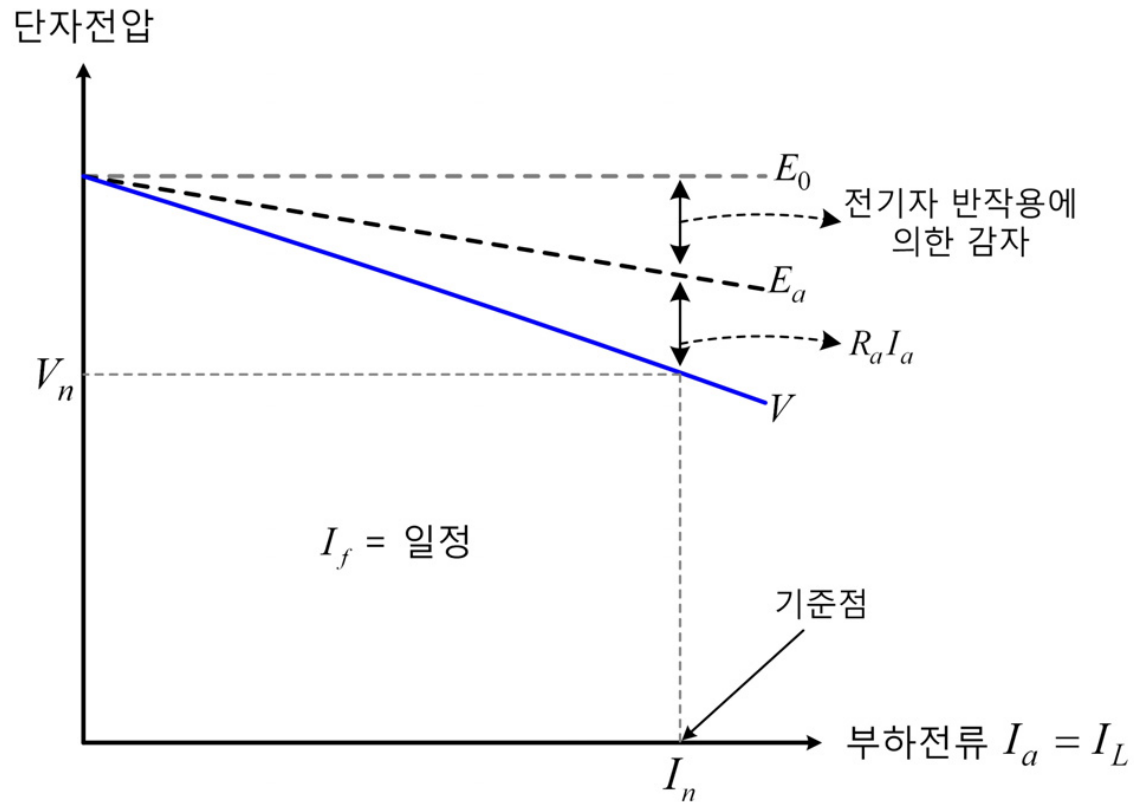
E_a : 전기자반작용을 고려한 유도기전력

V : 전기자 저항 및 브러시 접촉저항을 고려한 단자전압

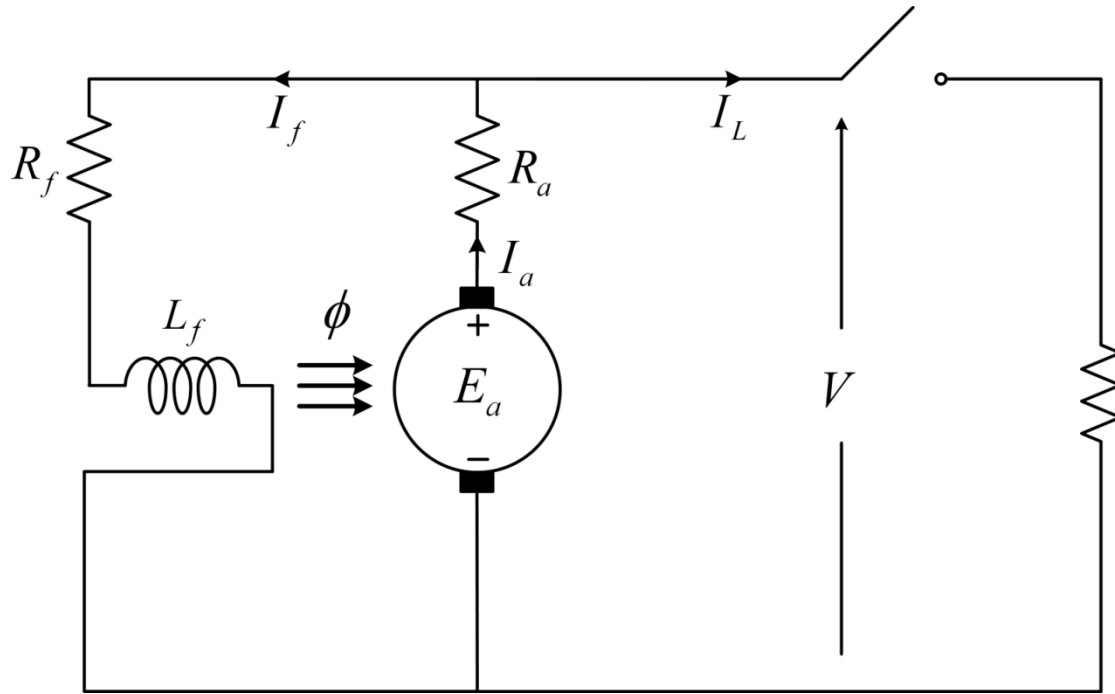
③ 외부 특성곡선

I_n

V_n

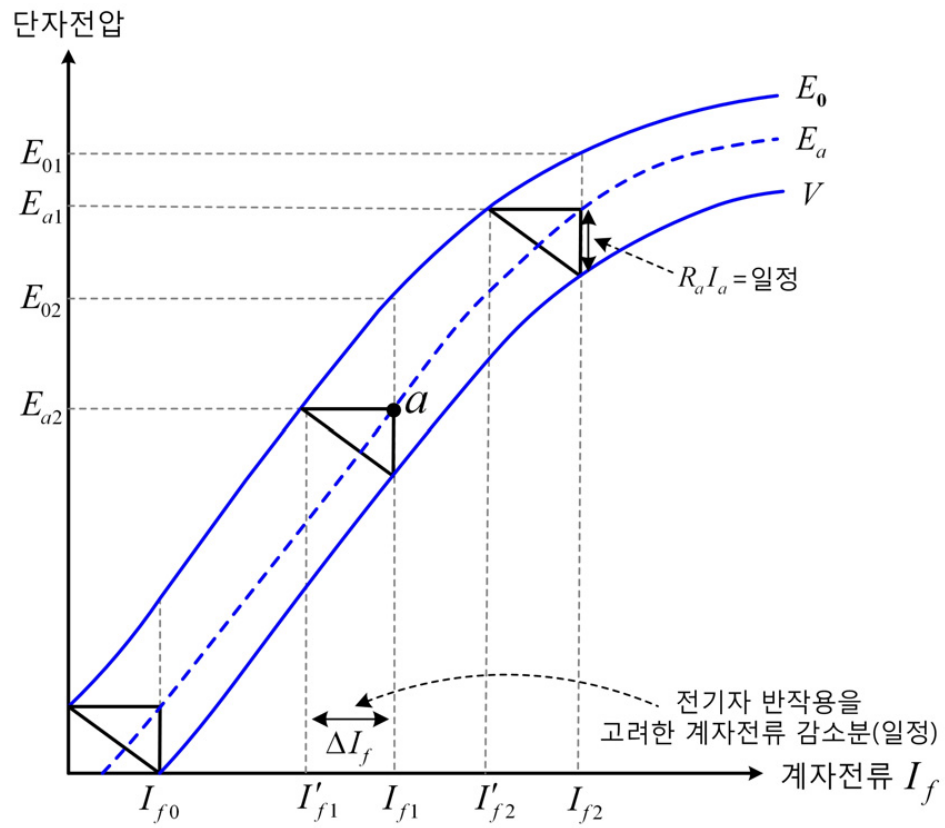


2) 분권 발전기

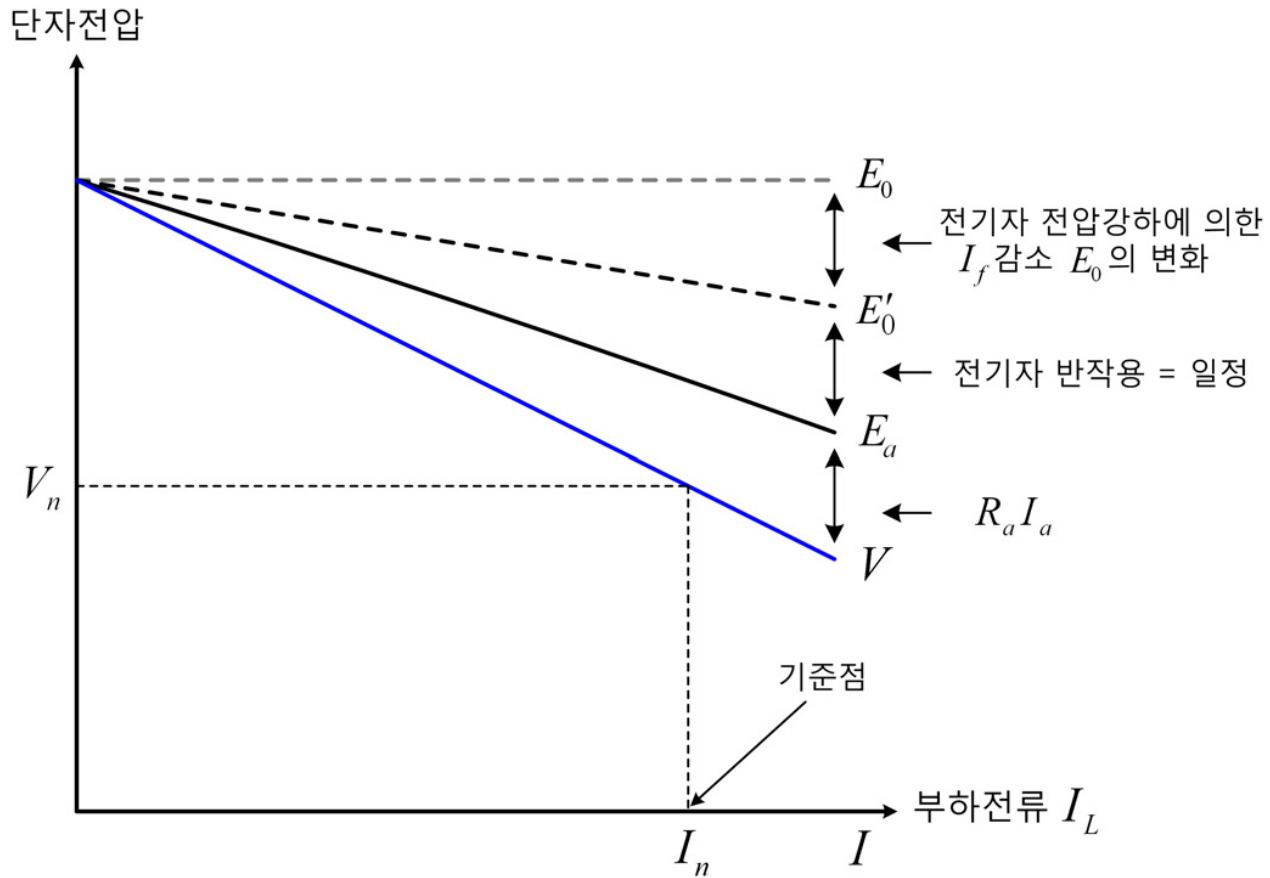


타여자 발전기의 등가회로

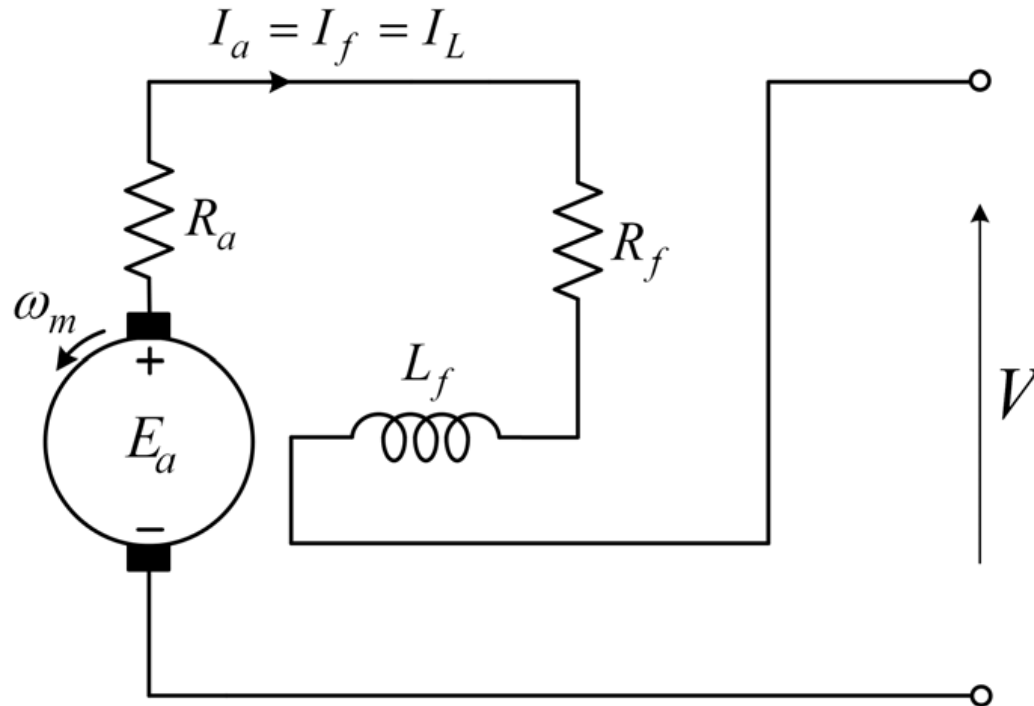
② 부하 특성곡선



③ 외부 특성곡선



3) 직권 발전기

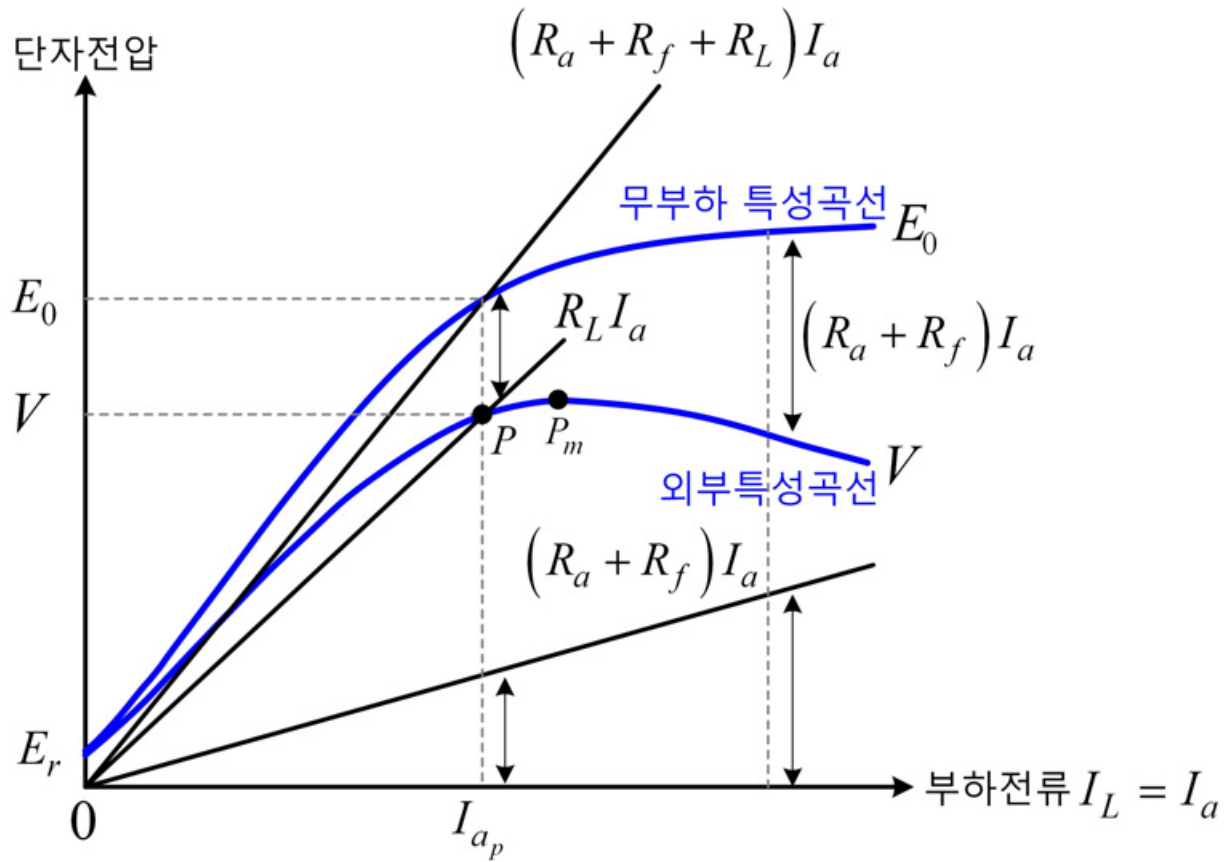


직권 발전기의 등가회로

- 전압방정식

$$V = E_a - I_a (R_a + R_f) [V]$$

① 외부 특성곡선



5. 기동법

- 전동기가 대용량이고 부하가 큰 경우

⇒ 관성모멘트가 큼

⇒ 기동시 정상 속도까지 도달하는데 시간이 오래 걸림

⇒ 큰 전류가 오래흘러 전동기가 과열될 수 있음

(직류기에서 기동전류는 정격전류의 3~5배 정도)

⇒ 중대현 기기에서는 **기동시 전류를 제한하는 방법**을 사용

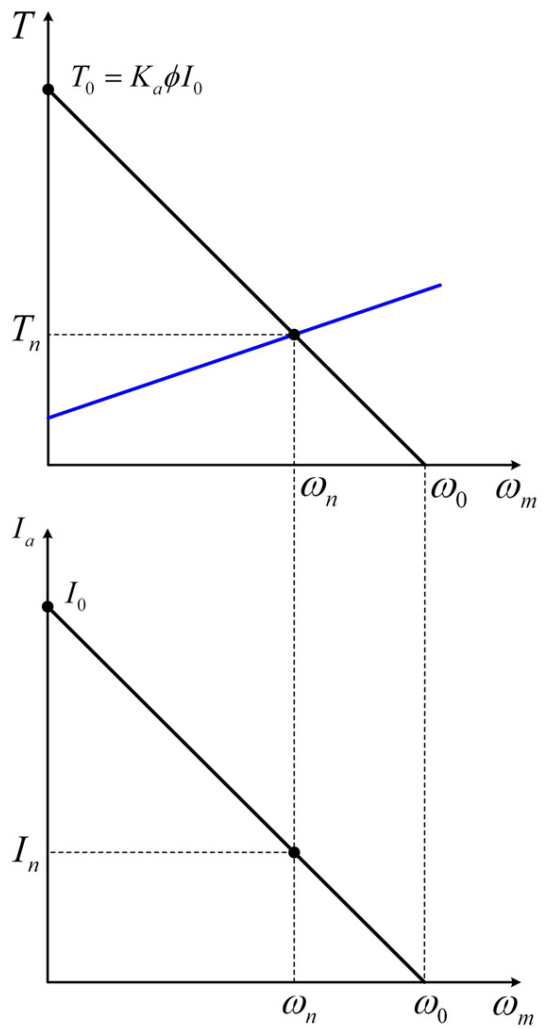
※ 전류제어방법 : 전압제어, 저항제어

① 속도-토크 특성

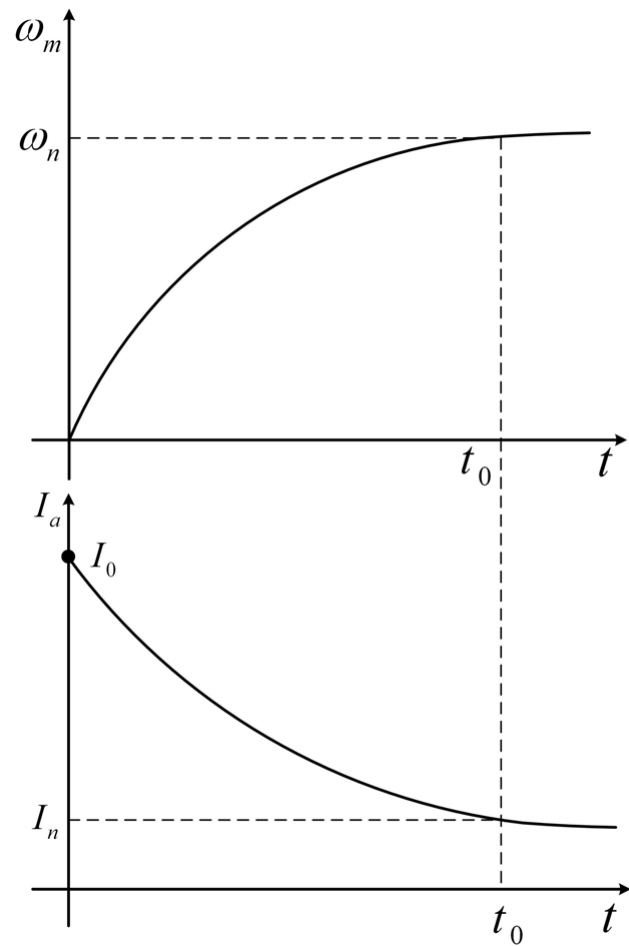
$$\therefore T = K_a \phi \frac{V}{R_a} - \frac{(K_a \phi)}{R_a} \omega_m [N \cdot m]$$

② 속도-전류 특성

$$\therefore I_a = \frac{V - E_a}{R_a} = \frac{V - K_a \phi \omega_m}{R_a} [A]$$

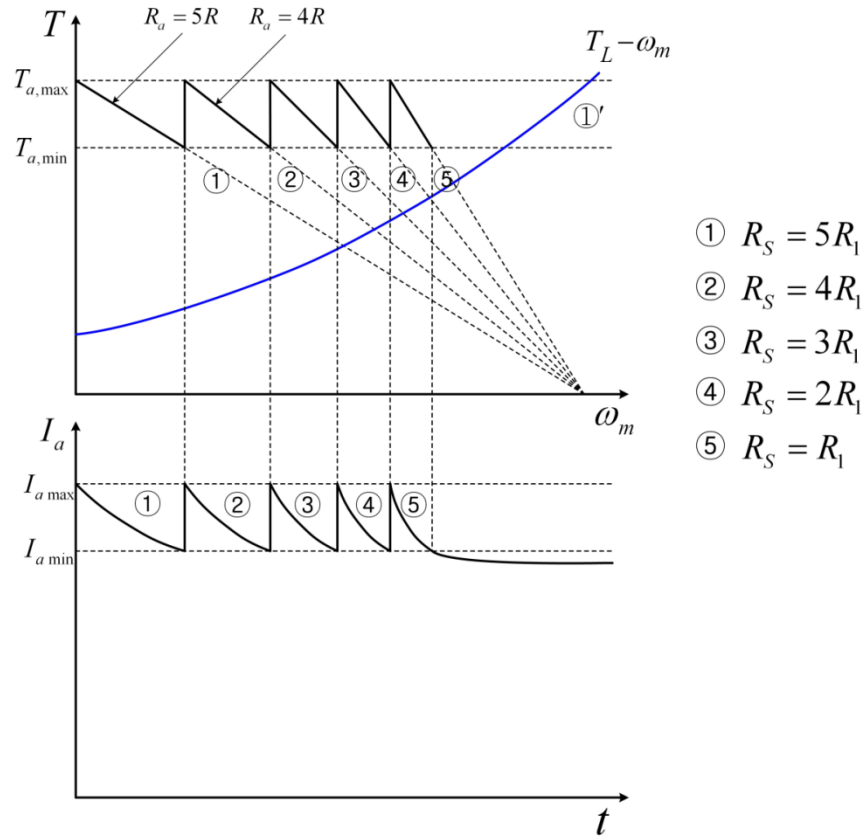


타여자 직류전동기 속도-토크 및 속도-전류특성



기동시 속도와 전류의 동특성

(1) 저항 기동법

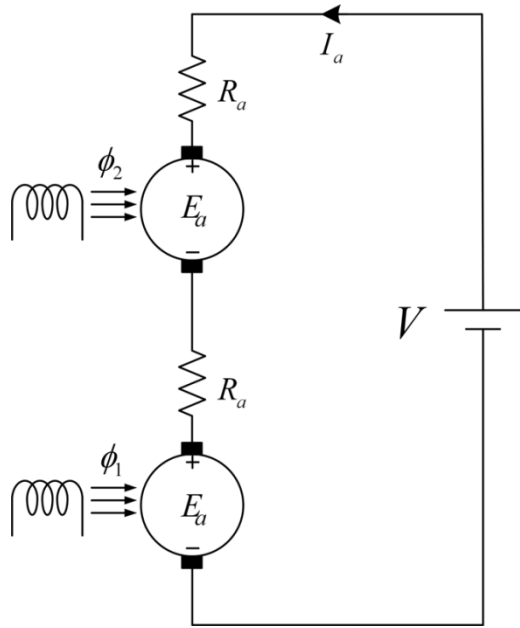


(2) 전압 기동법

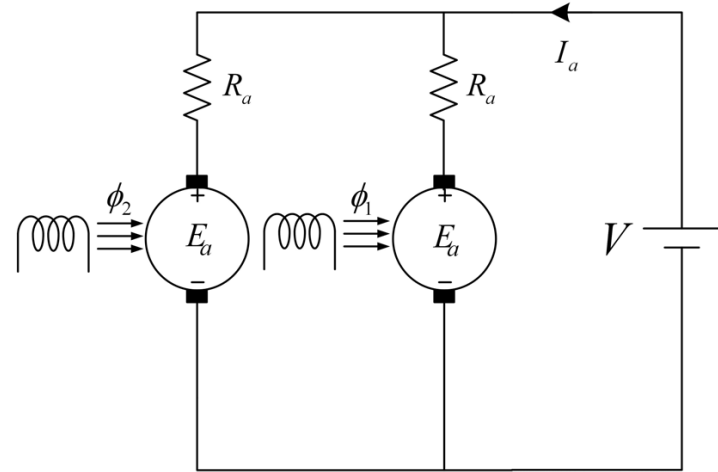
① 전전압 기동법 (full voltage starting method)

② 직병렬 기동법

: 2개의 직류전동기의 직-병렬 운전

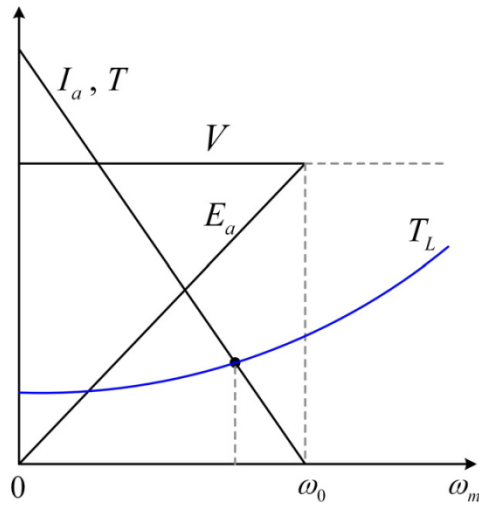


(a) 직렬운전

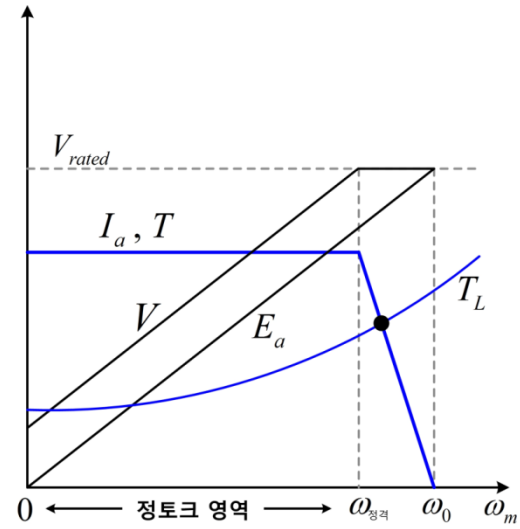


(b) 병렬운전

③ 전압제어 기동법



(a) 전전압 기동법



(b) 전압제어 기동법

6. 타여자, 분권전동기의 속도제어

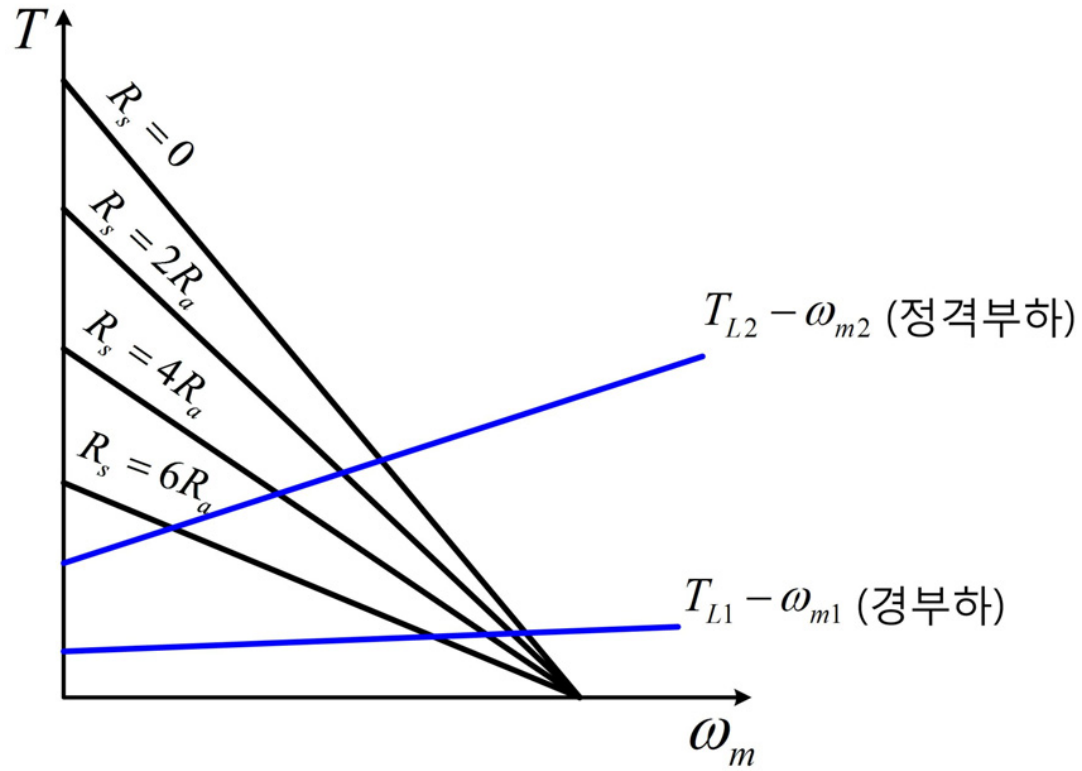
: 제어 가능한 변수를 제어하여 전동기의 속도-토크 특성곡선을 바꾸는 것

- 속도와 토크의 관계식

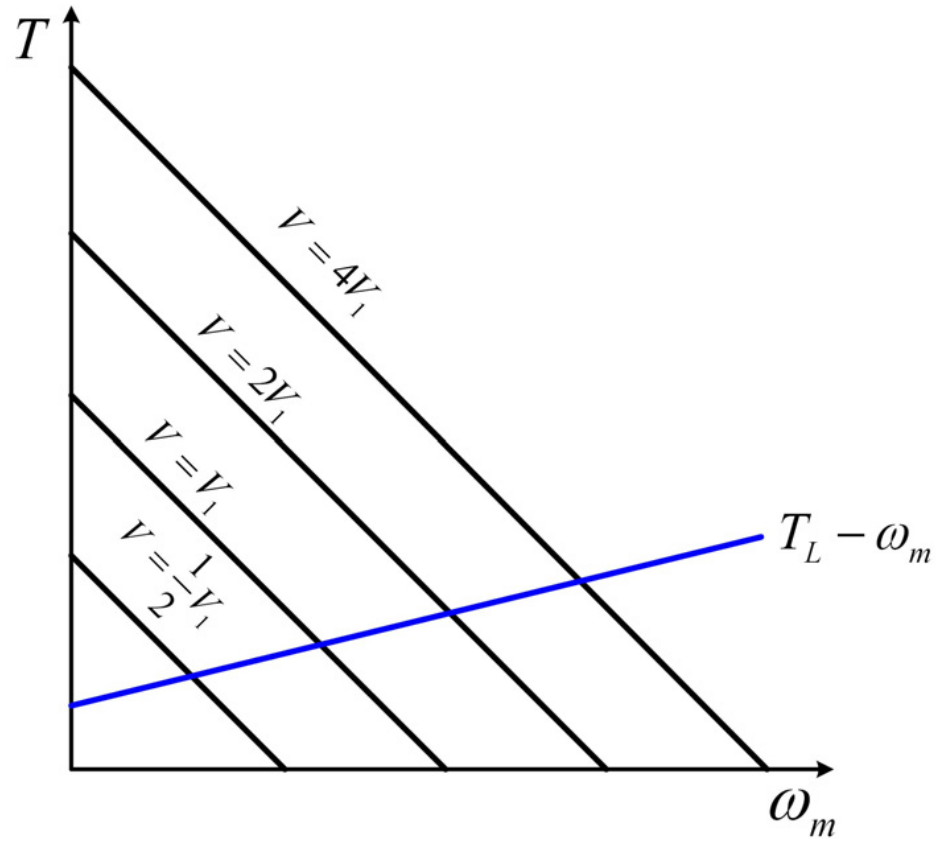
$$\omega_m = \frac{V - R_a I_a}{K_a \phi} = \frac{V}{K_a \phi} - \frac{R_a}{(K_a \phi)^2} T \quad [\text{rad / sec}]$$

- 저항제어법 :
- 전압제어법 :
- 계자제어법 :

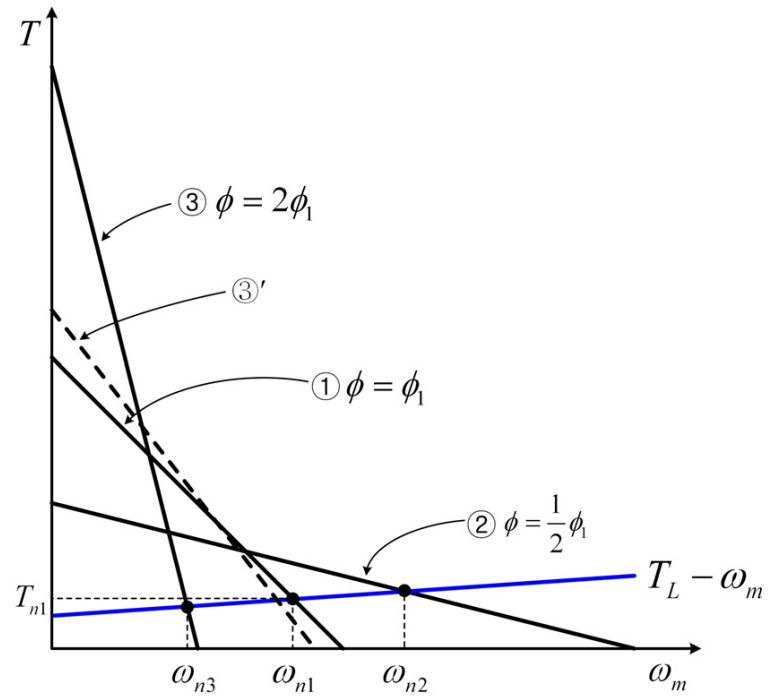
(1) 저항 제어법



(2) 전압 제어법



(3) 계자 제어법



(4) 전압 제어와 계자 제어의 혼합제어

