

기초전기기기

(강의자료 #1)



2013~2022년 출제문제 수록
새로운 출제기준에 따른 **2023**
전기기사 필기

김정연구회 저

전기기사 필기! 이 책 하나로 충분하다

1. 2013~2022년 출제문제 수록
2. 출제기준에 따른 과목별 내용과 출제예상문제 수록
3. 홈페이지 게시판을 통한 질의 및 응답



무료 동영상 강의 제공

최신 출제문제 (전기이론, 전기기기 해설)
www.dongilbook.com

2023년 한국전기설비규정 개정(안) 완벽적용

교과목명 : 기초전기기기

담당교수 : 이 수 형

E-mail : soohyong@uu.ac.kr

교재명 : 2023 전기기사 필기, 동일출판사

수업계획서

교과목명	기초전기기기	교과목번호	L4002A
담당교수	이 수 형	수강대상	지능형전력시스템공학과 1학년
학점 (시수)	2(2)	이수구분	전공
강의시간, 강의실	금 3,4 (갈마관 303)	교수연구실	갈마관 405
전화번호	054-760-1664	상담가능시간	사전약속 후 수시로 가능
핸드폰	010-2521-3227	E-mail 주소	soohyong@uu.ac.kr

수업 개요

- 전기분야의 자격증 및 관련 산업체에서 필요로하는 가장 기초가 되는 과목으로, 발전기/전동기, 변압기, 정류기와 관련된 내용을 익혀서 추후 전기산업기사 또는 전기기사에 필요한 교과목에 발판이 된다.
- 기본적인 회로이론을 바탕으로 다양한 발전기와 전동기의 구조를 이해하고, 변압기 및 정류에 대한 내용을 다룬다. 기본적인 이론과 더불어 다양한 연습문제의 풀이를 통하여 정확한 개념과 문제해결 방법을 습득한다.

수업 목표

- 수업 목표

- 발전기 및 전동기의 구조 및 작동 방법을 배운다.
- 변압기의 원리 및 작동방법을 배운다.
- 유도기의 원리, 구조 및 작동 방법을 배운다.
- 정류기의 원리 및 종류를 배운다.
- 다양한 연습문제 풀이를 통하여 문제해결 방법을 습득한다.

- 교재 및 참고문헌

- 새로운 출제기준에 따른 전기기능사 2023 필기, 동일출판사



70% —
80% —
90% —
100% —
FULL POTENTIAL!

2013~2022년 출제문제 수록
새로운 출제기준에 따른 **2023**
전기기능사 필기

검정연구회 저

전기기능사 필기! 이 책 하나로 충분하다

1. 2013~2022년 출제문제 수록
2. 출제기준에 따른 과목별 내용과 출제예상문제 수록
3. 홈페이지 게시판을 통한 질의 및 응답

 무료 동영상 강의 제공
최신 출제문제 (전기이론, 전기기기 해설)
www.dongilbook.com

2023년 한국전기설비규정 개정(안) 완벽적용

성적 평가 및 참고사항

- 성적 평가 방법 및 기준

평가방법	반영비율	내용
출석 및 수업참여도	20%	- 결석 1회시 1점 감점, 지각 3회시 결석 1회 처리 - 수업시간 중에 참여하지 않을 시에 1점 감점
중간고사	35%	발전기/전동기에 대한 이해를 평가하는 서술형/단답형 시험
기말고사	35%	변압기/정류기에 대한 이해를 평가하는 서술형/단답형 시험
과제물	10%	수업의 결과를 이해하고 주어진 문제를 해결할 능력이 어느 정도인지 평가

01. 직류기

(DC Generator/Motor)

1장. 직류기

1. 직류발전기의 원리
2. 직류발전기의 구조
3. 전기자 권선법
4. 유기 기전력
5. 전기자 반작용
6. 정류작용
7. 직류 발전기의 종류 및 특성
8. 직류발전기의 병렬운전조건
9. 직류 전동기의 구조 및 원리
10. 전동기의 회전수와 회전력
11. 직류 전동기의 종류 및 특성
12. 기동 및 속도제어
13. 손실 및 효율, 정격
14. 시험

1. 직류발전기의 원리

- 직류발전기

- 원동기(발전기의 동력을 얻는 장치)로부터 동력을 전달받아 계자라 불리는 자장 중에서 전기자에 의해 도체를 회전시킴으로서 도체에 렌츠의 전자유도 법칙과 플레밍의 오른손법칙에 의해 기전력(전압)을 만들어내는 장치

- 패러데이 & 렌츠의 법칙

- 도체 주위에 자기장의 변화가 있으면 기전력 발생
- 방향은 자기력선속의 변화를 방해하는 방향

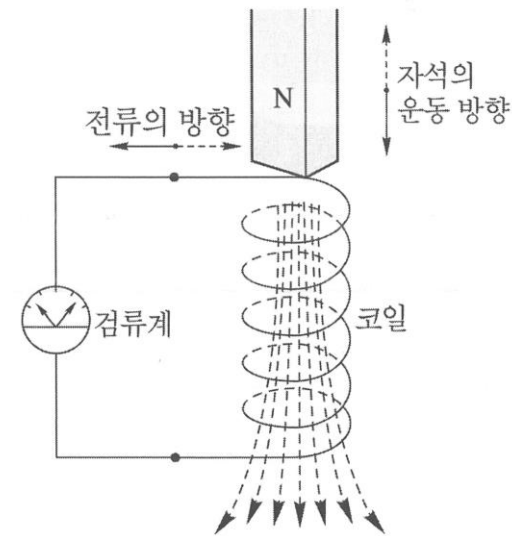


그림 1-1 렌츠의 전자유도 법칙

※ 참고 : <https://www.youtube.com/watch?v=7FDXD6pLzyY>
<https://www.youtube.com/watch?v=3HyORMBip-w>

1. 직류발전기의 원리

- 플레밍의 오른손 법칙

➤ 자기장의 내부에서 도체를 이동할때 기전력의 방향을 결정하는 법칙

[비교] 플레밍의 왼손 법칙 : 전동기

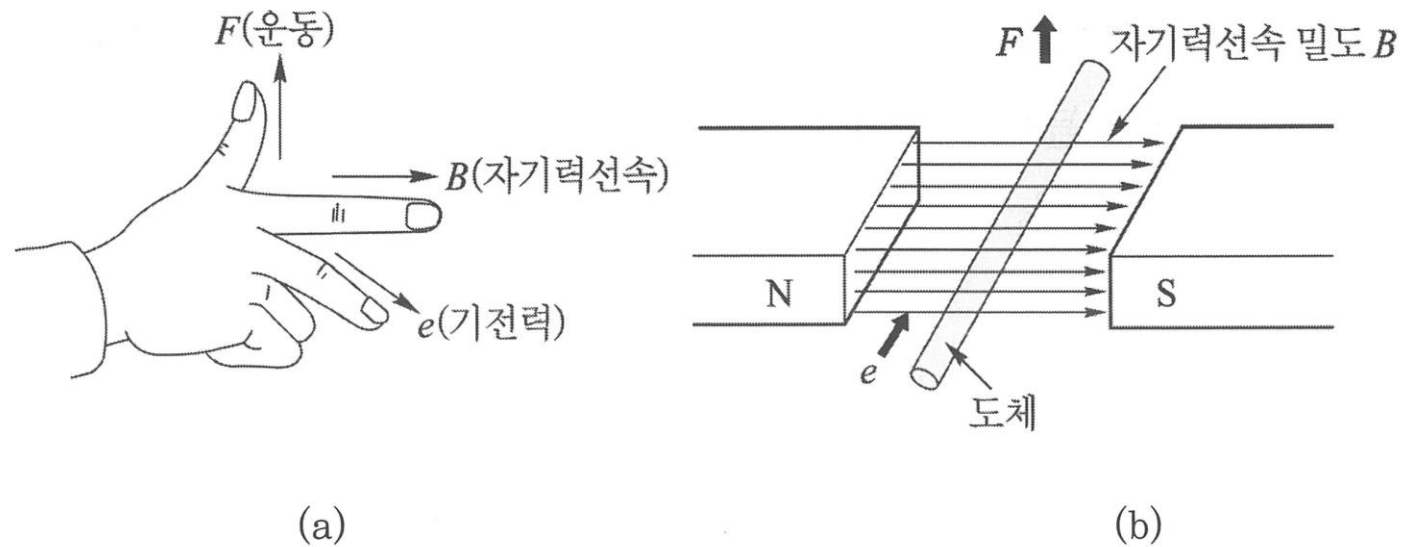
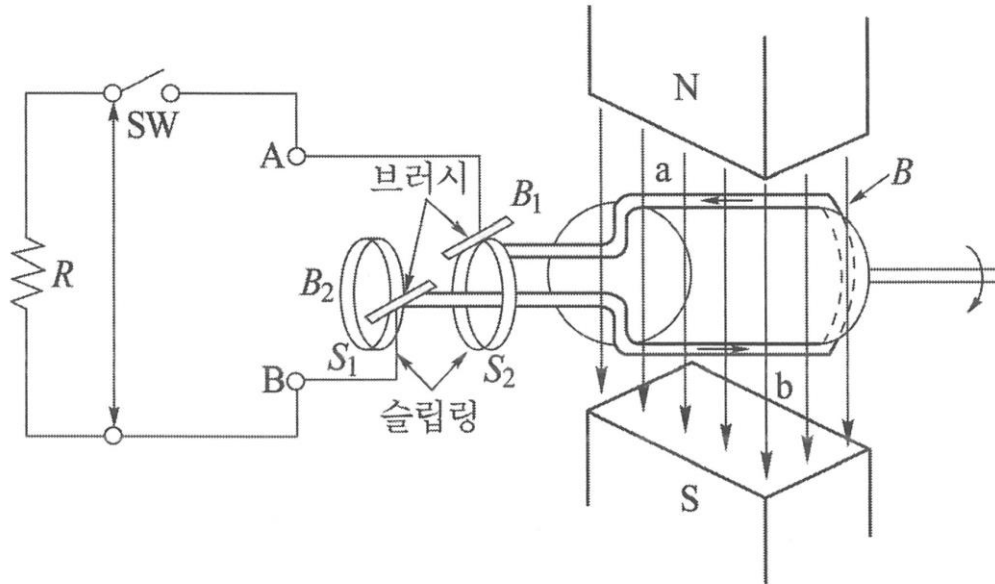


그림 1-2 플레밍의 오른손 법칙

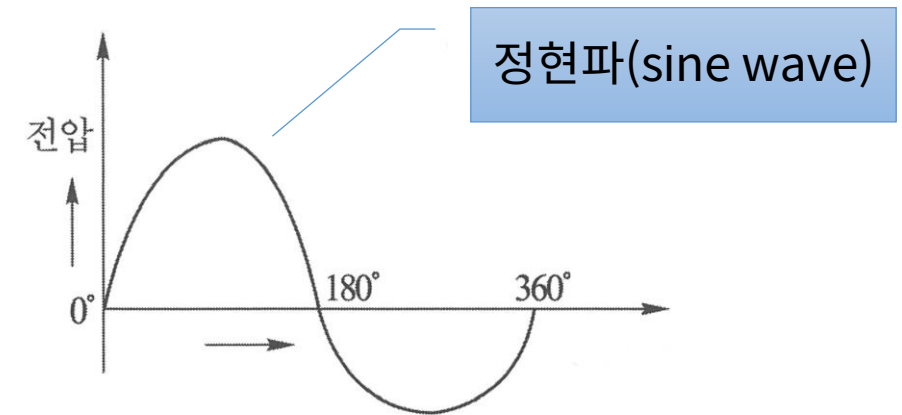
※ 참고 : <https://www.youtube.com/watch?v=DDz3KLW8vOc>

1. 직류발전기의 원리

- 교류발전기의 원리



(a) 교류의 발생



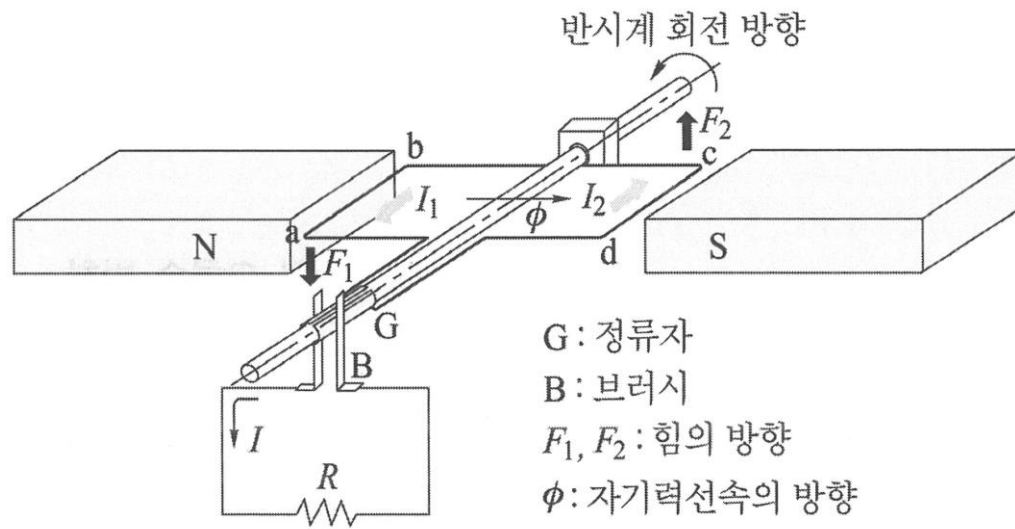
(b) 도체의 순시 위치에서의 유도 기전력

※ 참고 : <https://www.youtube.com/watch?v=gQyamjPrw-U>
<https://www.youtube.com/watch?v=H1aKEcM2YOo>

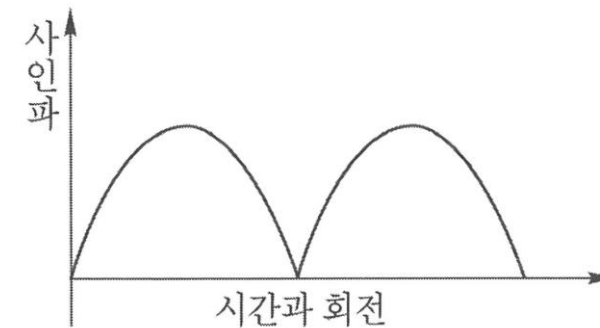
1. 직류발전기의 원리

- 직류발전기의 원리

➤ 교류발전기의 슬립링 대신 정류자와 브러시를 사용하면 전기극성이 회전하면서 변환 $\Rightarrow$ 직류



(a)



(b)

※ 참고 : <https://www.youtube.com/watch?v=H1aKEcM2YOo>

2. 직류발전기의 구조

- 계자 (Field magnet)
 - 주 자속(N, S극)을 발생하는 부분으로 자극과 계철로 구성
- 전기자 (Armature)
 - 기전력을 유기하는 부분으로 철심과 권선으로 구성
 - 0.35~0.5[mm]의 연강판으로 성층(멤돌이 전류와 히스테리시스 손실을 감소시키기 위한 규소 함량 1~1.4[%] 정도의 규소 강판을 겹쳐서 적층시킨것)한 전기자 철심과 전기자 권선으로 구성

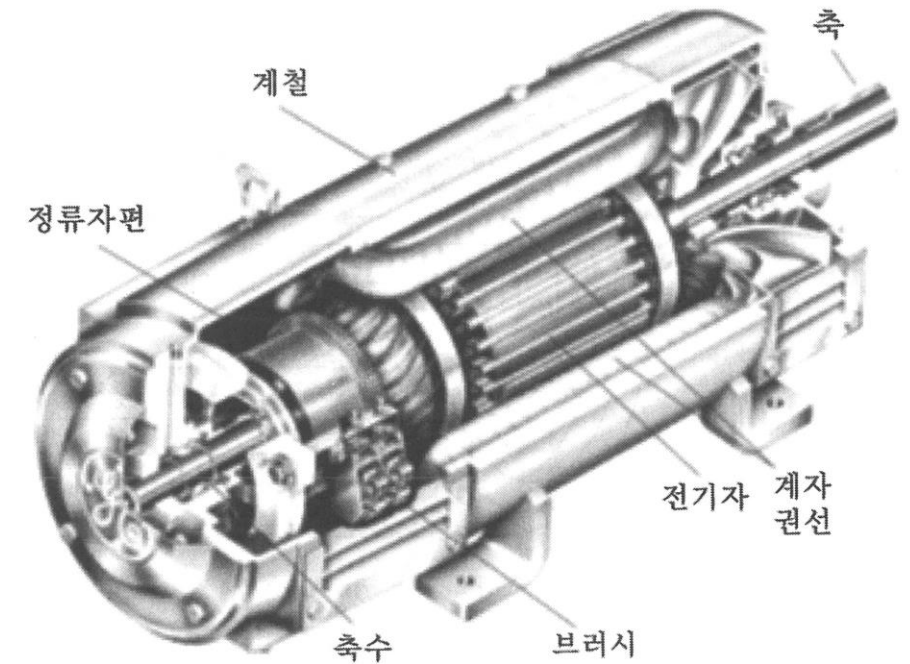
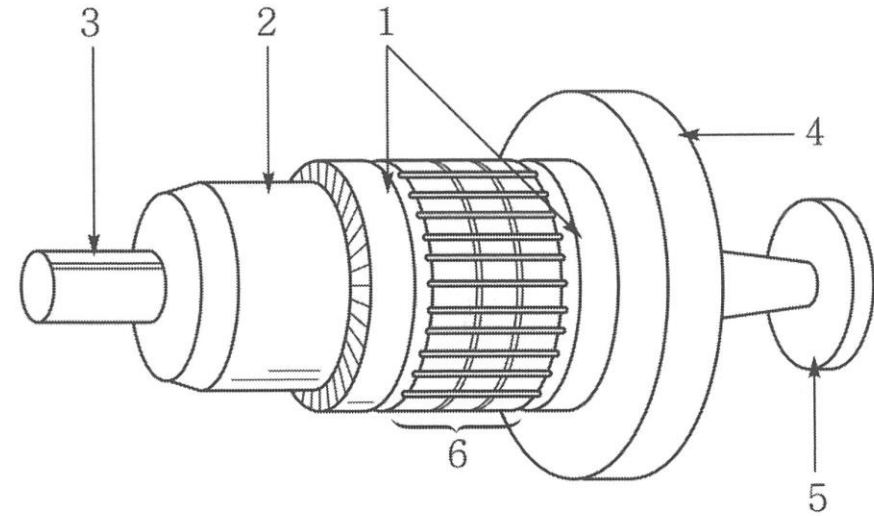
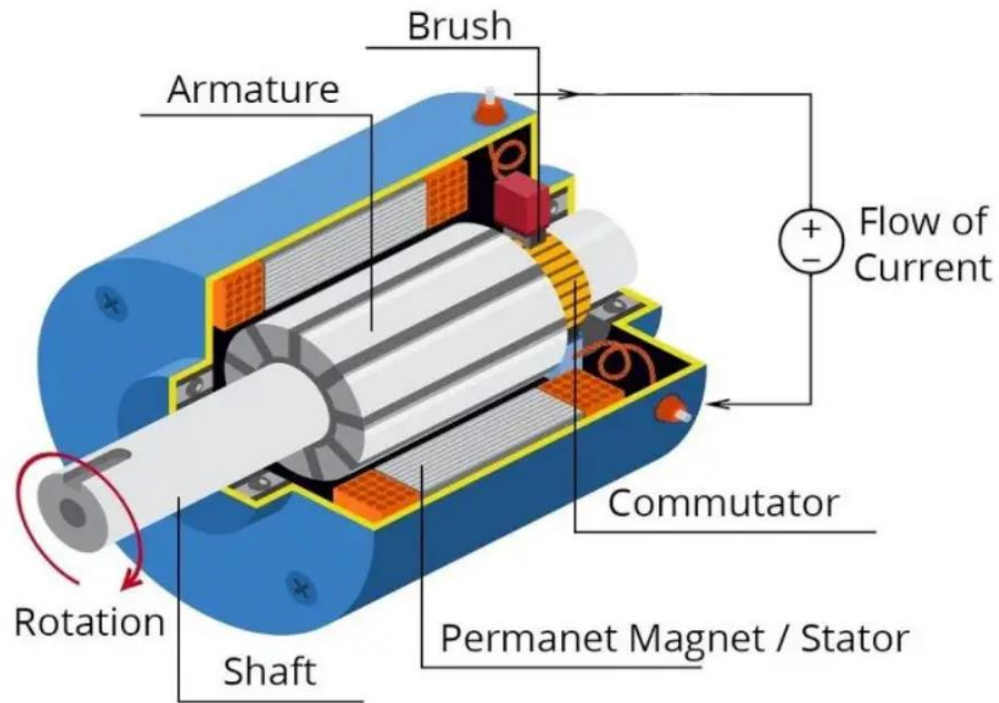


그림 1-5 직류 발전기의 구조

2. 직류발전기의 구조



- | | | |
|--------------|--------|----------|
| 1. 바인드선 (강선) | 2. 정류자 | 3. 축 |
| 4. 통풍 날개 | 5. 베어링 | 6. 성충 철심 |

그림 1-6 전기자의 구조

2. 직류발전기의 구조

- 정류자 (Commutator)
 - 발전된 교류기전력을 직류로 변환하는 부분
 - 브러시와 접촉하는 정류자편이 모임
- 브러시 (Brush)
 - 내부회로와 외부회로를 연결
 - 종류 : 탄소브러시, 흑연브러시, 금속브러시기
 - 접촉저항이 큰 탄소브러시가 양호한 정류 효과를 줌

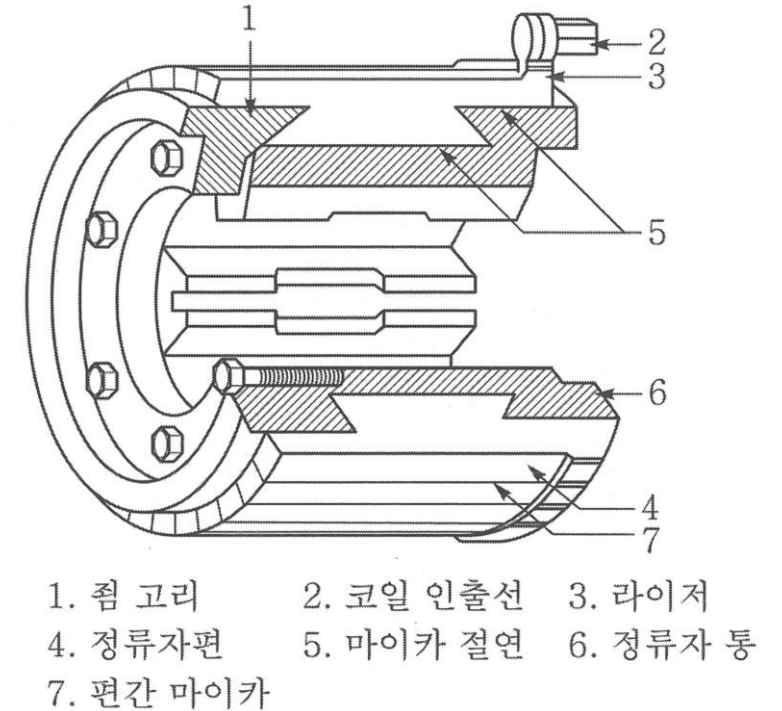
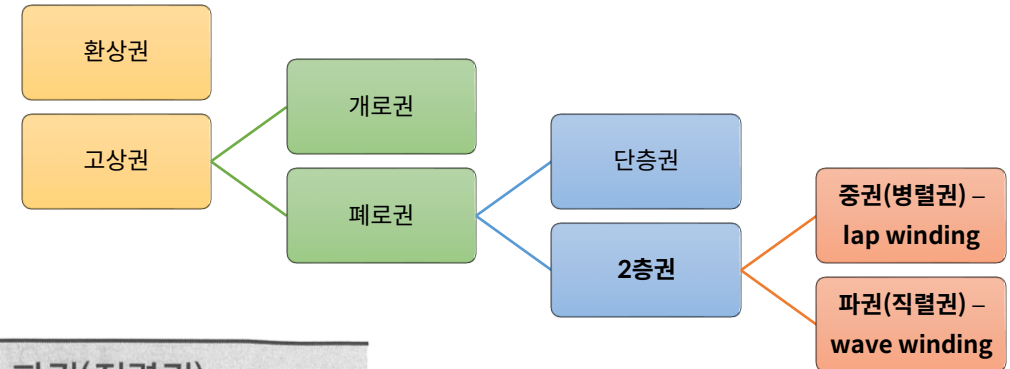


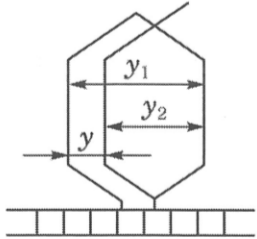
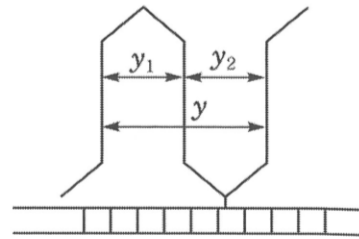
그림 1-7 정류자의 구조

3. 전기자 권선법

• 전기자 권선

- 기전력을 양호하고 안정되게(크게) 유지하기 위해서 ⇒ 고상권, 2층권, 폐로권을 선택



비교 항목	중권(병렬권)	파권(직렬권)
코일 정수		
합성 권선 피치(y)	$y = y_1 - y_2$	$y = y_1 + y_2$
전기자 병렬 회로수(a)	극수와 같다($a = p$)	항상 2($a = 2$)
브러시의 수(B)	극수와 같다($B = p$)	2개 또는 극수만큼 설치
균압 접속	4극이상 필요	불필요
용 도	저전압, 대전류	고전압, 소전류

※ 참고 : <https://www.youtube.com/watch?v=SFL01nRbp10>

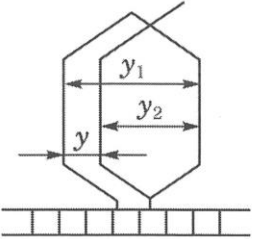
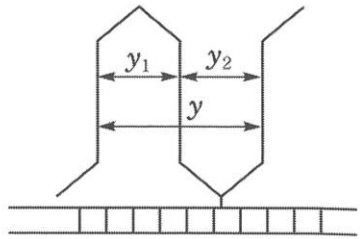
3. 전기자 권선법

- 전기자 권선

➤ 균압접속 : 중권에서 전기자 권선이 국부적으로 과열되는 것을 방지하기 위함

전기자 권선 등전위의 점을 저항이 적은 도선으로 접속하여 순환전류가 브러시를 통해 흐르지 않게 하여 과열 방지

중권과 파권의 비교

비교 항목	중권(병렬권)	파권(직렬권)
코일 정수		
합성 권선 피치(y)	$y = y_1 - y_2$	$y = y_1 + y_2$
전기자 병렬 회로수(a)	극수와 같다($a = p$)	항상 2($a = 2$)
브러시의 수(B)	극수와 같다($B = p$)	2개 또는 극수만큼 설치
균압 접속	4극이상 필요	불필요
용 도	저전압, 대전류	고전압, 소전류

4. 유기 기전력

- 유기 기전력

$$E = \frac{pZ}{a} \phi n = \frac{pZ}{a} \phi \frac{N}{60} = K \phi N \text{ [V]}$$

- Z : 전기자 도체수, ϕ : 자속수 [Wb], n : 회전속도 [rps], N : 회전속도 [rpm]
- K : 비례상수 ($K = \frac{pZ}{60a}$), a : 병렬 회로수, p : 극 수
- 기전력 : 자속(ϕ)과 회전수(N)의 곱에 비례
- 자속이 0인 경우 기전력이 없음

4. 유기 기전력

- 유기 기전력

➤ 도체 1개 유도 기전력 (p. 59) : $e = Blv$ [V], B : 자속밀도, l : 길이

❖ 자기밀도 : $B = \frac{\text{총자속수}}{\text{전기자표면적}} = \frac{\phi}{\pi D l} = \frac{P\phi}{\pi D l}$ [Wb/m²]

❖ 속도 : $v = \text{원의 둘레} \times \text{초당회전수} = \pi D n$

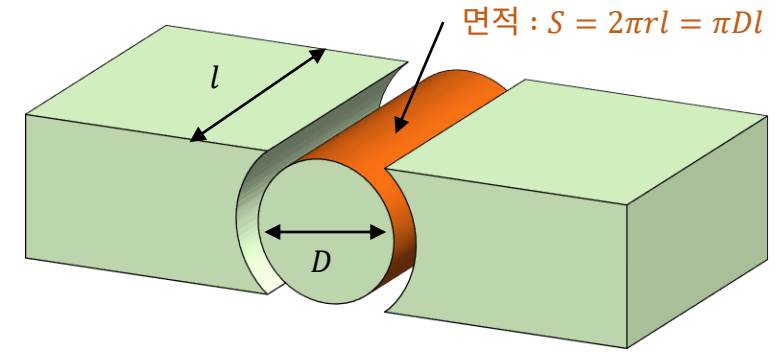
➤ 도체 전체 기전력 : 도체 1개 기전력 $\times$ 도체수 (Z) $\div$ 병렬회로수

$$E = Blv \times \frac{Z}{a} = \frac{P\phi}{\pi D l} \times l \times \pi D n \times \frac{Z}{a} = \frac{PZ}{a} \phi n$$

$$E = \frac{pZ}{a} \phi n = \frac{pZ}{a} \phi \frac{N}{60} = K \phi N \text{ [V]}$$

Z : 전기자 도체수, ϕ : 자속수 [Wb], n : 회전속도 [rps], N : 회전속도 [rpm]

K : 비례상수 ($K = \frac{pZ}{60a}$), a : 병렬 회로수, p : 극 수



5. 전기자 반작용

- 전기자 반작용

- 전기자 전류에 의하여 생긴 자속이 계자에 의해 발생하는 주자속에 영향을 주는 현상

- ❖ 중성축의 이동 - 발전기 : 회전방향, 전동기 : 회전반대방향

- 영향

- ❖ 주자속 감소

- ❖ 유기 기전력 감소

- ❖ 전기적 중성축 이동

- ❖ 브러시 불꽃 발생

- 방지 대책

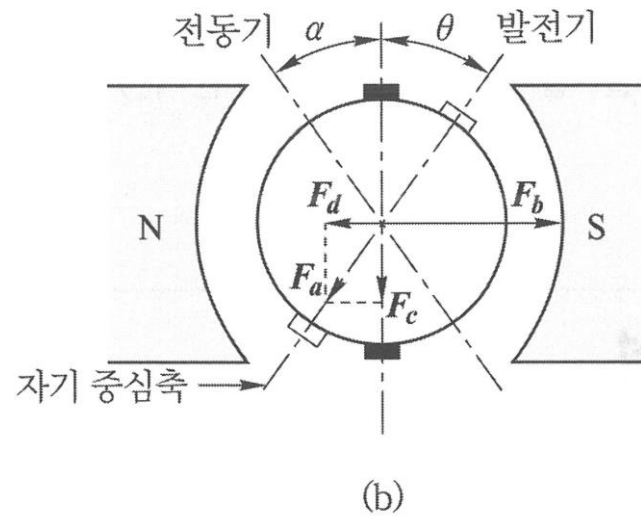
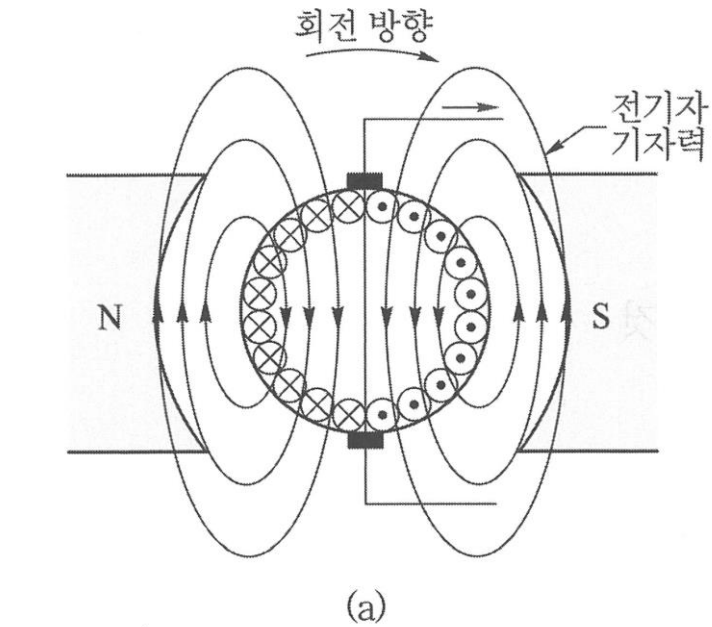
- ❖ 계자극에 홈을 파고 권선을 감아 전기자와 직렬로 연결하여 반대방향의 전류를 흘려 상쇄 ⇒ 보상권선

- ❖ 별도의 자극을 설치하여 중성축 부분의 전기자 반작용 상쇄 ⇒ 보극

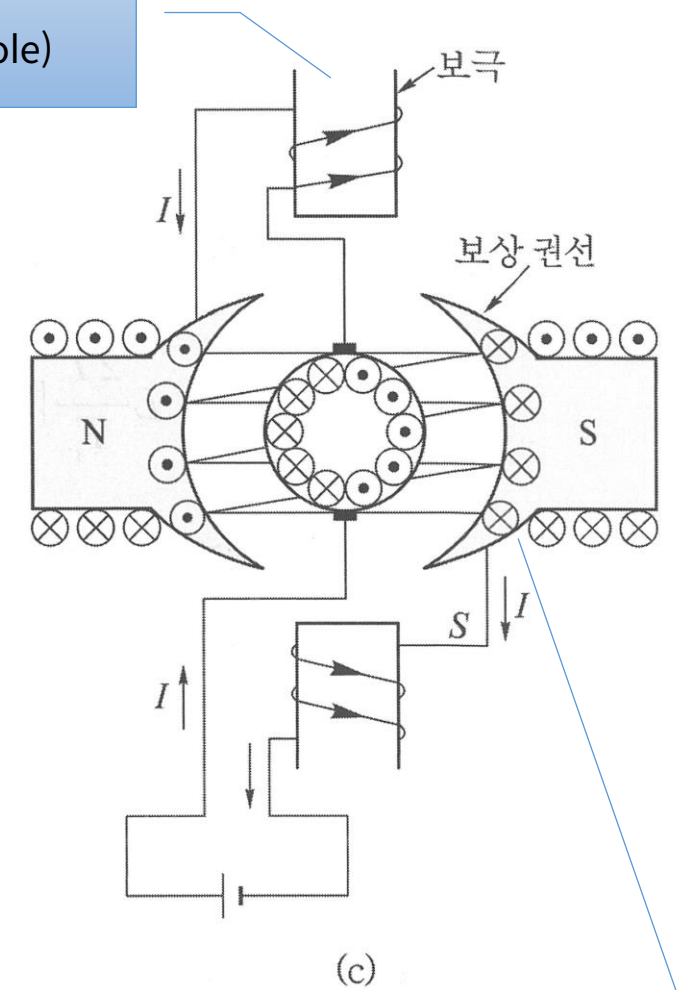
- ❖ 전기자 기자력보다 상대적으로 계자 기자력을 크게 설정

5. 전기자 반작용

- a. 전기자 반작용
- b. 중성축의 이동
- c. 보극과 보상권선



보극(inter pole)



보상권선 (compensating winding)

6. 정류작용

- 직류 발전기의 전기자 권선에 유기되는 교류를 직류로 변환

- 정류 주기

- 코일이 브러시에 단락된 순간부터 단락이 끝날 때까지의 시간 (0.5 ~ 2 [m/s])

$$T_c = \frac{b - \delta}{v} = \frac{b - \delta}{\pi DN} \times 60 \text{ [sec]}$$

b : 브러시 두께[m], v : 주변 속도 [m/s], δ : 절연물 두께 [m],
 N : 회전수[rpm], D : 회전자 지름[m]

$$\text{정류주기 } T_c = \frac{b - \delta}{v_c} \text{ [sec]} \left(\text{정류자 주변속도 } v_c = \frac{\pi DN}{60} \right)$$

①정류전: 브러시가 ③번 정류자편을 접촉하기 직전 순간



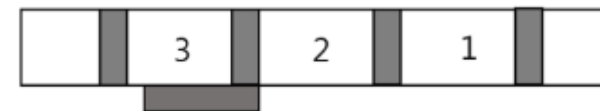
②정류 초기: 브러시가 ③번 정류자편을 접촉하는 순간



③ 정류 중: 브러시가 ②, ③번 정류자편을 단락하고 있는 순간



④ 정류 말기: 브러시가 ②번 정류자편을 떠나는 순간



〈정류 주기〉

※ 참고 : <https://m.blog.naver.com/advan2011/221953697300>

6. 정류작용

- 정류 개선 대책

➤ 불꽃 없는 정류를 얻기 위해서 정류시 발생하는 평균리액턴스 전압을 작게

① 평균 리액턴스 전압이 작을 것

$$e_r = L \frac{2I_c}{T_c} \text{ [V]}$$

② 보극 설치 (전압 정류)

③ 접촉 저항이 큰 브러시 사용 (저항 정류)

④ 보상 권선 설치 (전기자 반작용 감소)

※ 리액턴스 전압 (p. 45 인덕턴스)

자기 인덕턴스에 의해 발생하는 전압
전류의 변화를 방해하고 내부 고압 유발

$$e_r = -L \frac{di}{dt} = L \frac{I_c - (-I_c)}{T_c} = L \frac{2I_c}{T_c}$$

7. 직류 발전기의 종류 및 특성

- 타여자 발전기

➤ 별도의 독립된 여자 전원을 가짐 : $E = V \pm I_a R_a$, $I_a = I$

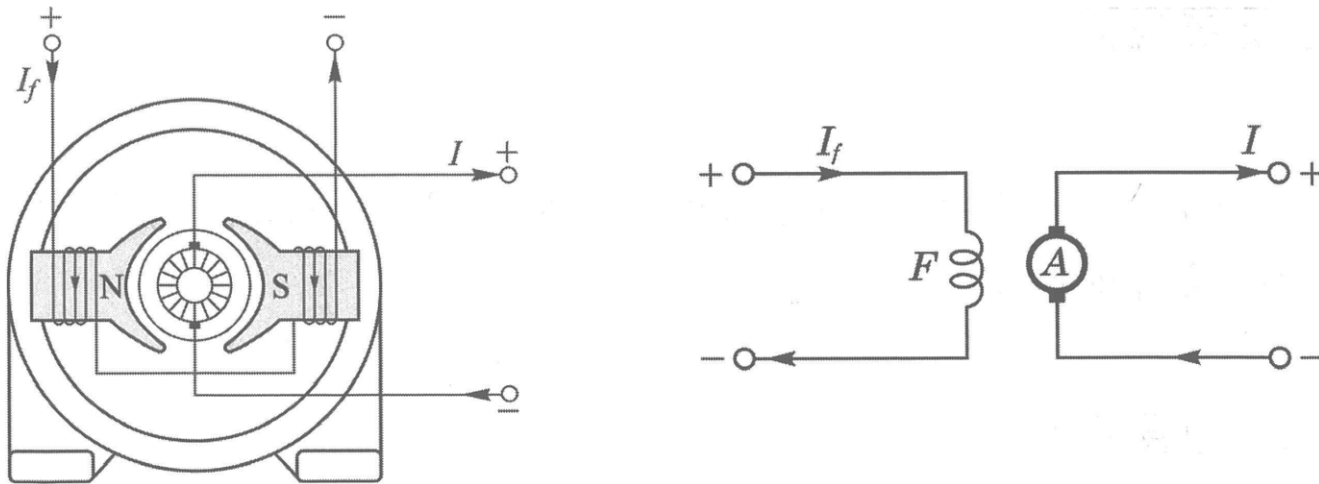


그림 1-9 타여자 발전기

7. 직류 발전기의 종류 및 특성

- 타여자 발전기

- 무부하 특성 곡선 (유기기전력 E 와 계자 전류 I_f 의 관계 곡선)

- ❖ AB 구간 : 계자전류에 비례하여 유도전압 증가
- ❖ BC 구간 : 철심의 자기포화현상으로 완만하게 증가
- ❖ OA 구간 : 계자전류가 0이라도 잔류자기에 의해 유도되는 전압
- ❖ 잔류자기가 없어도 발전이 가능, 회전방향 반대 → 극성 반대

- 외부 특성 곡선 (단자 전압 V 와 부하전류 I 의 관계 곡선)

- ❖ 부하전류가 증가하면 전압강하 $R_a I_a$ 가 증가
→ 단자전압이 점차 감소
- ❖ 일반적으로 정격부하에서 전압변동이 적은 정전압 발전기로 분류
- ❖ 전기 화학 공업용의 저전압 대전류용, 실험실용, 대형 교류발전기의 주여자기, 직류 전동기 속도 제어용 전원, 속도계용 발전 등에 사용

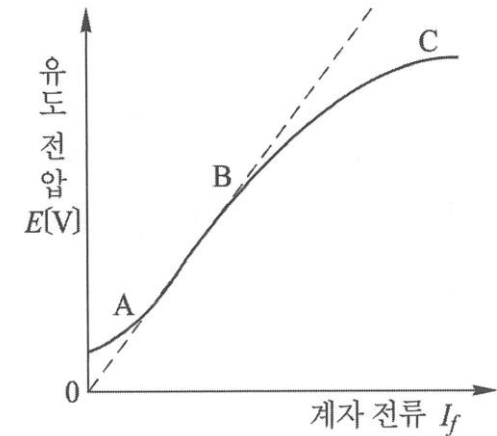


그림 1-10 타여자 발전기의 무부하 특성 곡선

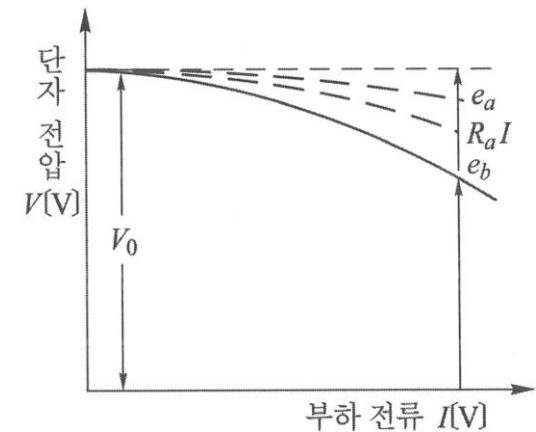


그림 1-11 타여자 발전기의 외부 특성 곡선

7. 직류 발전기의 종류 및 특성

- 자여자 발전기의 종류 (전기자, 권선의 접속 방법에 따라 분류)
 - 직권 발전기 : 전기자와 계자 권선의 직렬 접속
 - 분권 발전기 : 전기자와 계자 권선의 병렬 접속
 - 복권 발전기 : 전기자와 계자 권선의 직병렬 접속
 - ❖ 가동 복권 : 직권 계자 자속과 분권계자 자속이 더해지는 경우
 - ❖ 차동 복권 : 직권 계자 자속과 분권계자 자속이 상쇄되는 경우

- 분권 발전기

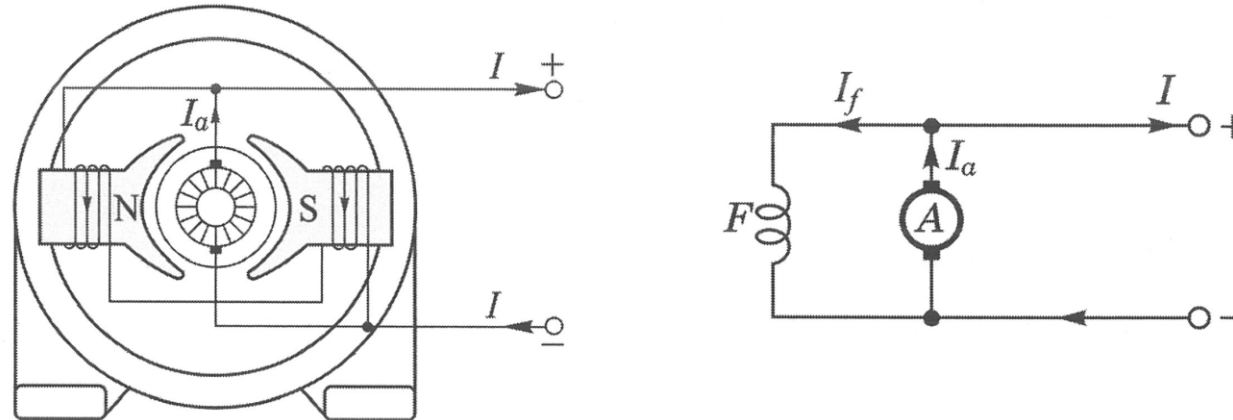


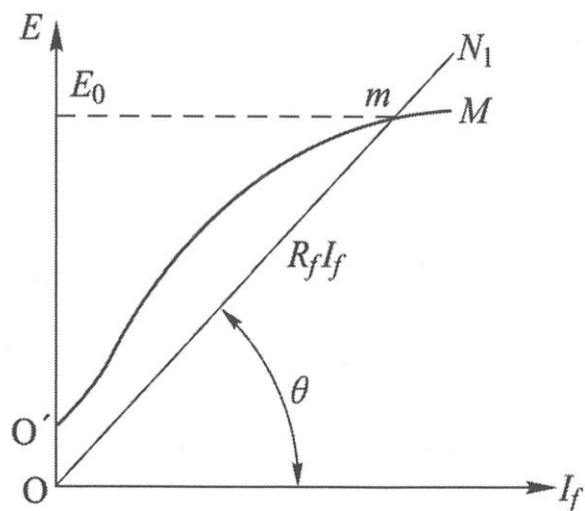
그림 1-12 분권 발전기

7. 직류 발전기의 종류 및 특성

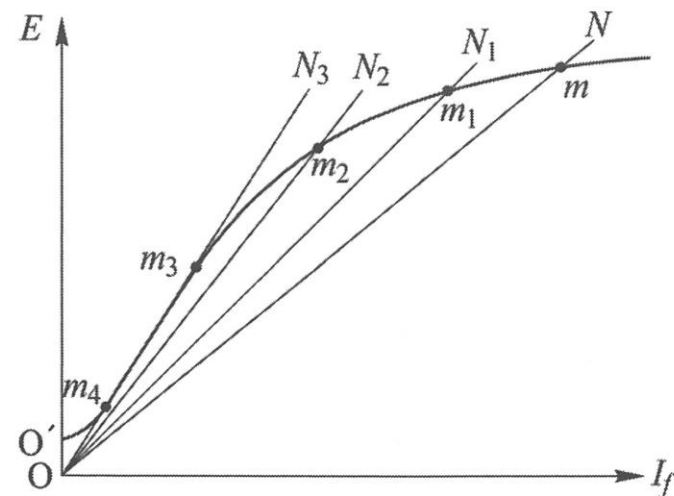
- 분권 발전기

- 무부하 특성 곡선

- ❖ $V = R_f I_f$, $V = E - R_a I_a$



(a)



(b)

그림 1-13 분권 발전기의 무부하 특성 곡선

- ❖ ON_1 : 계자저항선 – 무부하포화곡선인 $O'M$ 과 만나는 m 에서 전압 확립 → 전압확립점
 - ❖ θ 값 증감으로 계자저항선 변화 → 일정전압을 유지할 수 없음. N_3 : 임계저항선

7. 직류 발전기의 종류 및 특성

• 분권 발전기

➤ 외부 특성 곡선

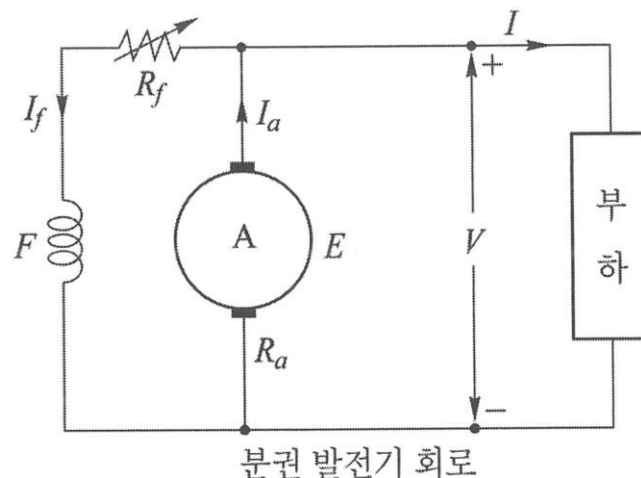
$$\diamond V = E - I_a R_a - V_f - V_b - V_a$$

$$\diamond I_a = I + I_f = I + \frac{V}{R_f}$$

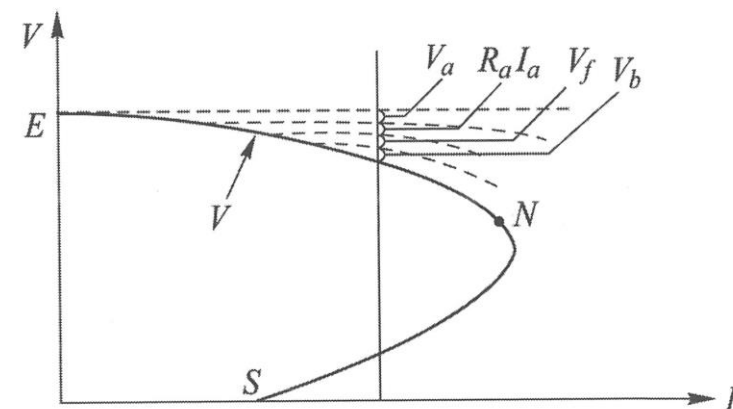
✓ V_f : 계자 전압 강하

✓ V_a : 전기자 반작용에 의한 전압 강하

✓ V_b : 브러시에 의한 전압 강하



(a)



(b)

그림 1-14 분권 발전기 회로 및 외부 특성 곡선

❖ 부하 증가 → I 증가 → 급격한 전압강하 → 계자전류 ($I_f = V/R_f$) 감소 → 기전력 E 감소

❖ 전압변동율이 적으므로 정전압 발전기로 분류, 별도의 여자 전원 불필요, 계자 저항기를 사용하여 전압 조절 가능

⇒ 전기 화학 공업용 전원, 축전지 충전용, 동기기의 여자용 및 일반 직류 전원용으로 사용

7. 직류 발전기의 종류 및 특성

- 직권 발전기

➤ 전기자와 계자 전원이 직렬로 연결, 전기자에서 발생한 기전력으로 주자극에 계자전류 공급

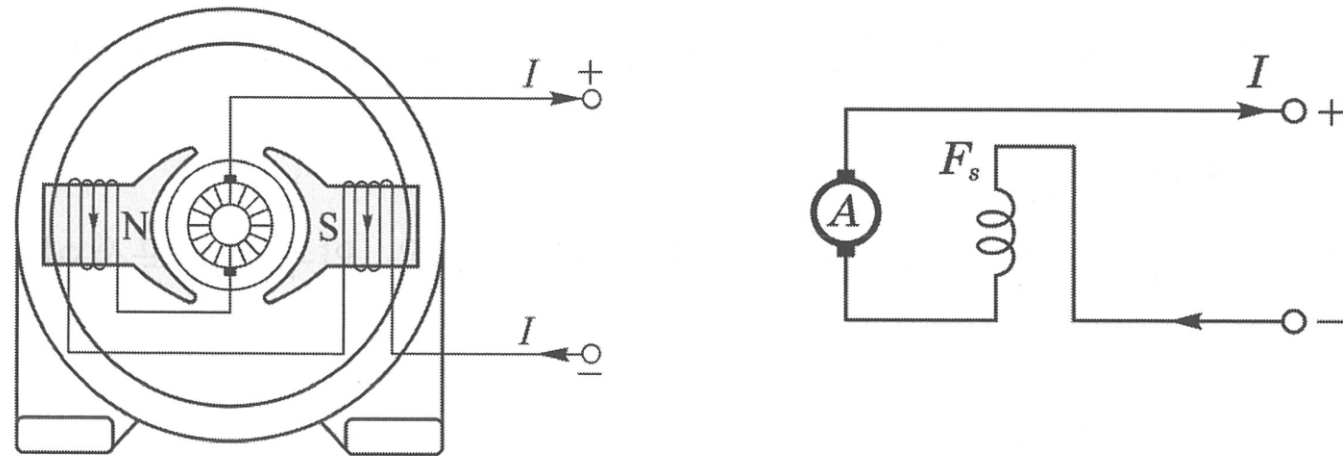


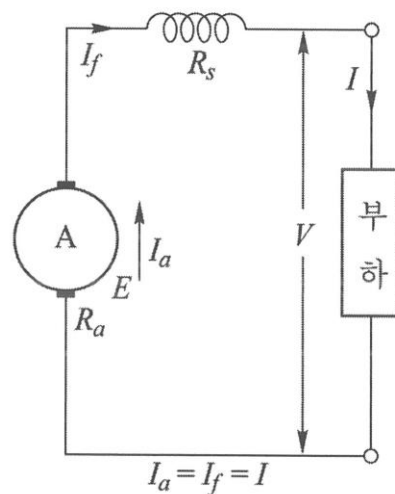
그림 1-15 직권 발전기

7. 직류 발전기의 종류 및 특성

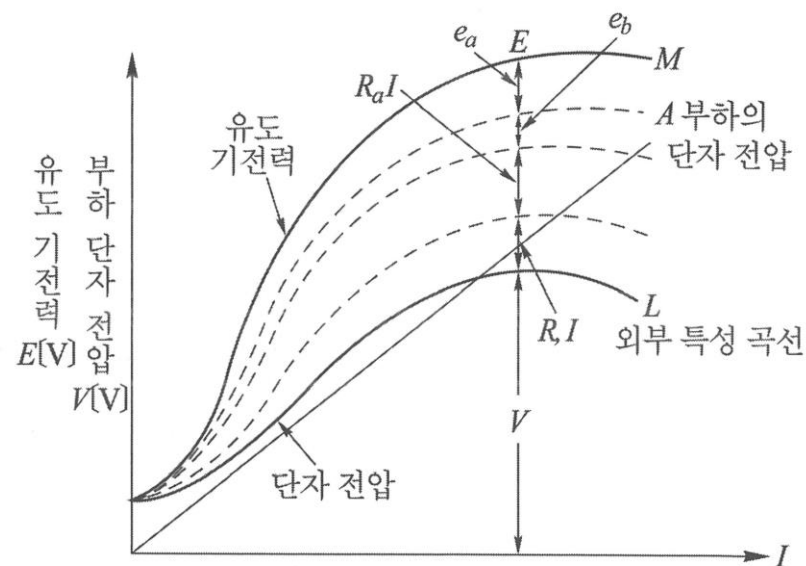
• 직권 발전기

➤ 외부 특성 곡선

- ❖ $I = I_f = I_a$: 무부하시 계자 전류 0
→ 자기 여자로 전압을 확립할 수 없음
→ 무부하 특성곡선 없음
- ❖ $E = V + I_a(R_a + R_s), I = I_f = I_a$



(a)



(b)

그림 1-16 직권 발전기의 외부 특성 곡선

- ❖ 무부하시에 부하전류가 거의 흐르지 않음 → 전압강하 적음
부하 증가 → 부하전류가 증가 → 계자자속 증가 → 기전력 증가 → 전압강하 큼

7. 직류 발전기의 종류 및 특성

- 직류 발전기의 전압 변동률[%]

- E_0 : 무부하 전압, E : 정격 전압

$$\epsilon = \frac{E_0 - E}{E} \times 100$$

- 손실

- 무부하손 (고정손) : 부하와 관계없는 손실

- ❖ 철손 : 철에서 나타나는 손실, 자기장과 관련있는 손실

- ✓ 히스테리시스손 : 몸통이나 철심이 외부 자기에 의해서 만드는 히스테리시스 곡선에 의해서 발생

- ✓ 와류손 : 와류전류에 의해서 발생

- ❖ 기계손 : 브러시 접촉저항과 볼베어링 저항등으로 발생 – 매우 작으므로 무시

- 부하손 (가변손) : 부하에 따라 발생하는 손실

- ❖ 동손 : 구리선에 나타나는 손실 – 구리선의 저항에 의해 열로 발생하는 손실

- ❖ 표류부하손 : 다른 손실 외에 측정 불가능한 모든 손실

8. 직류발전기의 병렬운전 조건

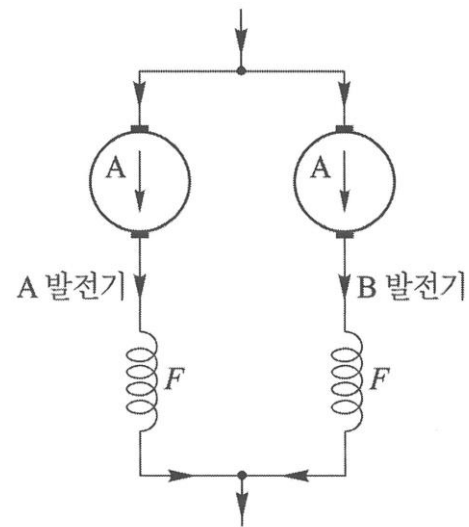
- 병렬 운전
 - 1대의 발전기로 용량이 부족한 경우
 - 부하 변동폭이 큰 경우 : 부하의 크기에 따라 1대 또는 2대 병렬 운전
- 병렬 운전 조건
 - 정격 전압 및 극성이 동일
 - 외부 특성곡선이 어느 정도 수하 특성일 것
 - 용량이 다를 경우 [%] 부하 전류로 나타낸 외부 특성 곡선이 거의 일치할 것

8. 직류발전기의 병렬운전 조건

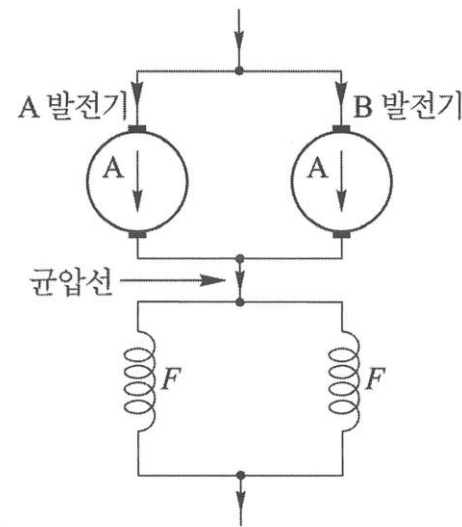
- 병렬운전시 부하분담
 - 각 발전기의 유도기전력 E 와 전기자 회로의 저항 R_a 에 의해 결정
 - 저항이 동일하면 유기 전압이 큰 측이 부하를 많이 담당
 - 유기 전압이 동일하면 부하는 전기자 회로 저항에 반비례해서 분배
 - ❖ $E_1 - R_{a1}(I_1 + I_{f1}) = E_2 - R_{a2}(I_2 + I_{f2}) = V$
 - ❖ E_1, E_2 : 각 기의 유도기전력 [V], R_{a1}, R_{a2} : 각 기의 전기자 저항 [Ω], I_1, I_2 : 각 기의 부하분담 전류 [A]
 I_{f1}, I_{f2} : 각 기의 계자 전류 [A], V : 단자 전압 [V]

8. 직류발전기의 병렬운전 조건

- 직권 발전기와 복권 발전기의 병렬 운전
 - 안전한 병렬 운전을 위하여 균압선을 설치
 - 균압선이 없는 경우 : 어느 발전기 하나가 기전력이 크게 되면 큰 발전기가 모든 부하분담을 가짐



(a) 균압선 생략



(b) 균압선 설치

그림 1-17 직류 발전기의 병렬운전

9. 직류 전동기의 구조 및 원리

- 직류 전동기의 구조
 - 발전기와 동일한 구조 : 직류 전동기 $\leftrightarrow$ 직류 발전기
 - 종류 : 타여자 전동기, 자여자 전동기 (분권 전동기, 복권 전동기)
- 직류 전동기의 원리 : 플레밍의 왼손 법칙

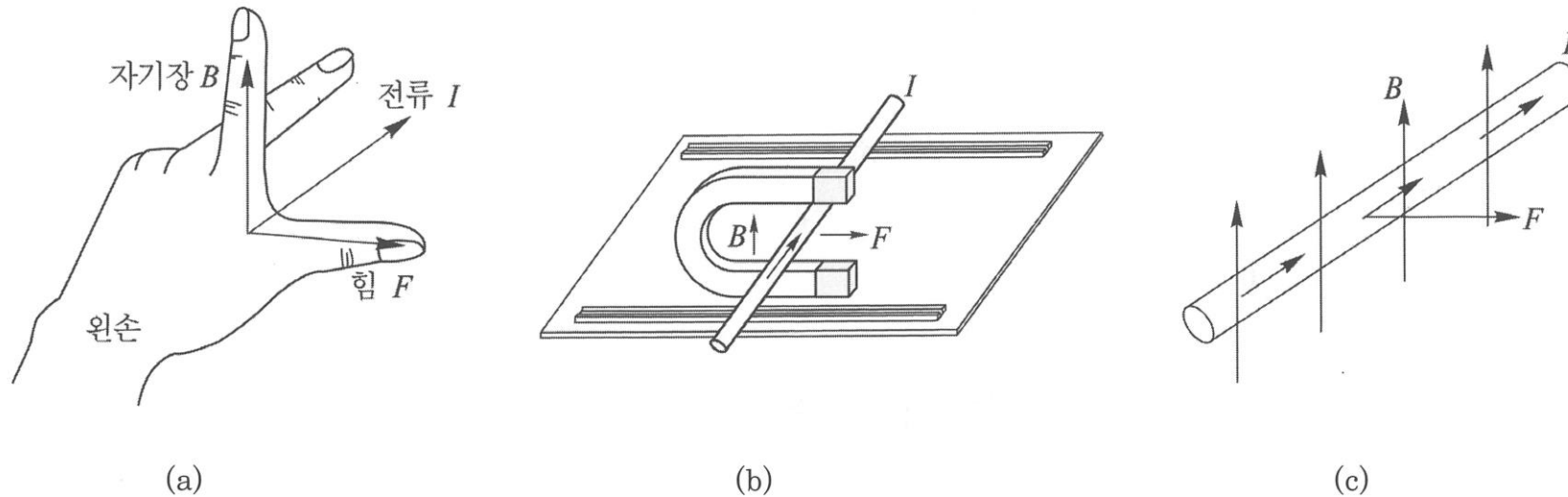


그림 1-18 플레밍의 왼손법칙

※ 참고 : <https://www.youtube.com/watch?v=DDz3KLW8vOc>

9. 직류 전동기의 구조 및 원리

- 타여자 전동기

- ▶ 별도의 독립된 여자 전원 보유
- ▶ 계자가 만드는 자기장 속에서 회전 → 발전기처럼 기전력 유기
⇒ 역기전력 : 전원전압에 대하여 전압강하

$$E = V - R_a I_a = \frac{pZ}{a} \phi n = \frac{pZ}{a} \phi \frac{N}{60} = K_1 N \text{ [V]}$$

$$\left(\because K_1 = \frac{pZ}{60} \right)$$

- ▶ 일반적인 전압방정식

$$V = E_c + R_a I_a + e_b$$

여기서, E_c : 역기전력, R_a : 전기자 저항, I_a : 전기자 전류,
 e_b : 브러시 전압강하, V : 전동기에 가한 전압 (단자전압)

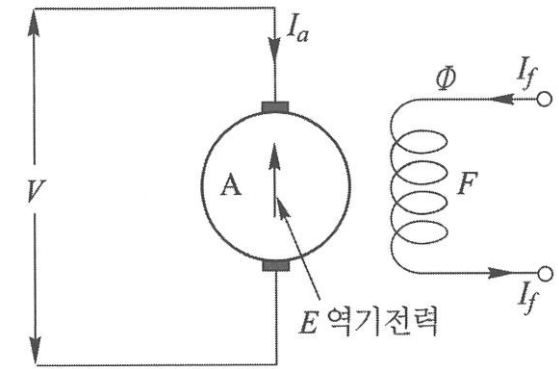


그림 1-19 타여자 직류 전동기의 회로도

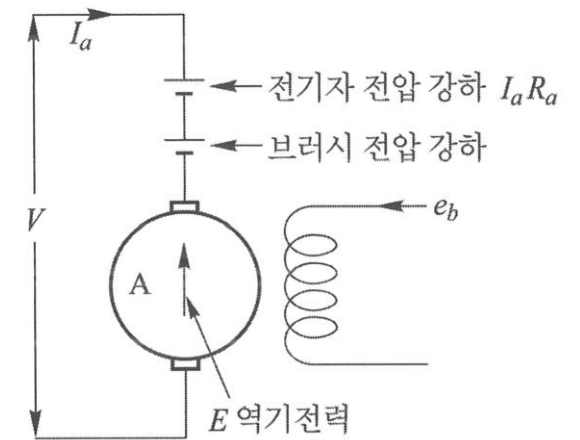


그림 1-20 전압강하를 포함한 타여자 직류 전동기의 회로

10. 전동기의 회전수와 회전력

- 회전력 (torque : 토크)

➤ 전기자도체 1개에 가해지는 힘 (p. 56) : $f = B l I_a$ [N]

➤ 전체 도체에 가하는 힘 :

➤ 토크 : $T = F \times r$

Z : 전기자 도체수, ϕ : 자속수 [Wb],
 n : 회전속도 [rps], N : 회전속도 [rpm],
 a : 병렬 회로수, p : 극 수

$$\tau = F \times r = B l I_a \times \frac{Z}{a} \times \frac{D}{2} = \frac{p\phi}{\pi D l} \times l \times I_a \times \frac{Z}{a} \times \frac{D}{2} = \frac{pZ}{2\pi a} \phi I_a = K \phi I_a \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

$$\tau = \frac{pZ}{2\pi a} \phi I_a = \frac{EI}{2\pi n} = K_2 \phi I_a \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad \left(\because K_2 = \frac{pZ}{2\pi a} \right)$$

회전각속도 ω 를 이용한 토크

$$\tau = \frac{EI_a}{\omega} = \frac{P_m}{\omega} \text{ [N} \cdot \text{m]}, \quad \omega = 2\pi n = 2\pi \frac{N}{60}$$

$$\tau = \frac{1}{9.8} K_2 \phi \text{ [kg} \cdot \text{m]} \quad (\because 1 \text{ [kg} \cdot \text{m]} = 9.8 \text{ [N} \cdot \text{m]})$$

• 발전기 유기기전력 [slide 17]

$$E = \frac{pZ}{a} \phi n = \frac{pZ}{a} \phi \frac{N}{60} = K \phi N \text{ [V]}, \quad K : \text{비례상수} \left(K = \frac{pZ}{60a} \right)$$

$$\tau = 0.975 \frac{P}{N} \text{ [kg} \cdot \text{m]}$$

10. 전동기의 회전수와 회전력

- 회전수

$$E = Blv \times \frac{Z}{a} = \frac{P\phi}{\pi D l} \times l \times \pi D n \times \frac{Z}{a} = \frac{PZ}{a} \phi n = K_1 \phi n$$

$$n = \frac{E}{K_1 \phi} = K_1 \frac{E}{\phi} \times 60 \text{ [rpm]}, \quad N = \frac{E}{K_1 \phi} = \frac{V - R_a I_a}{K_1 \phi} \text{ [rpm]}$$

11. 직류 전동기의 종류 및 특성

- 발전기와 동일한 구조

- ▶ 별도 독립된 여자 전원 유(有)

- ❖ 타여자 전동기

- ▶ 독립 여자 전원 무(無)

- ❖ 직권 전동기

- ✓ 여자전동기와 계자회로 직렬 연결

- ❖ 분권 전동기

- ✓ 여자 전동기와 계자회로 병렬 연결

- ❖ 복권 전동기 : 둘 다 보유

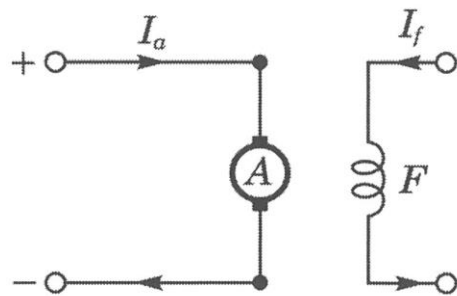
A : 전기자, F : 계자 권선

F_s : 직권 계자 권선

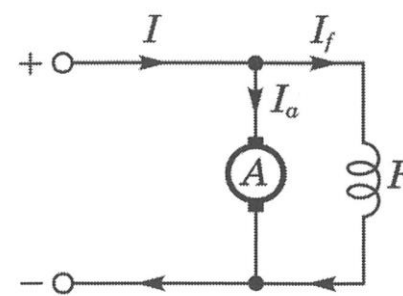
I : 부하전류

I_a : 전기자 전류

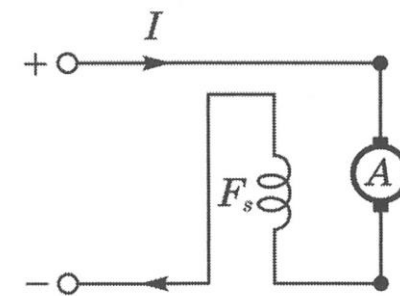
I_f : 분권 또는 타여자 전류



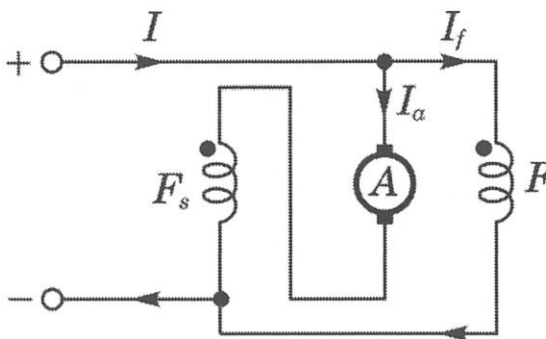
(a) 타여자 전동기



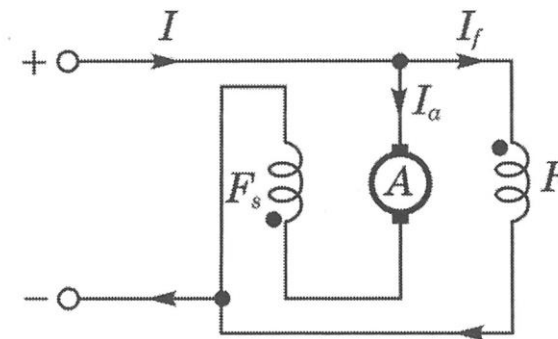
(b) 분권 전동기



(c) 직권 전동기



(d) 가동 복권 전동기



(e) 차동 복권 전동기

11. 직류 전동기의 종류 및 특징

- 타여자 전동기

- ▶ 독립된 여자 회로 보유
- ▶ 전원 극성이 반대이면 회전방향이 반대
- ▶ 속도 : 자속 ϕ 일정 $\rightarrow$ 정속도 특성

$$N = \frac{E}{K_1 \phi} = \frac{V - R_a I_a}{K_1 \phi}$$

- ▶ 토크 : 부하전류에 비례

$$\tau = \frac{pZ}{2\pi a} \phi I_a = \frac{EI}{2\pi n} = K_2 \phi I_a \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

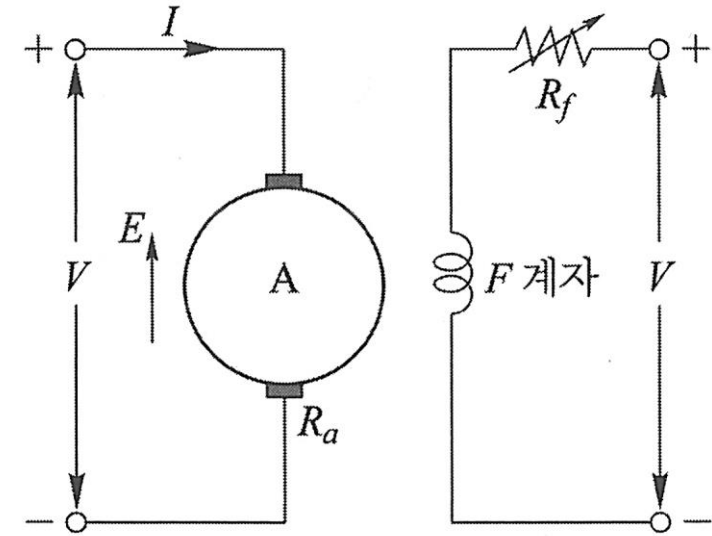


그림 1-22 타여자 전동기 회로

11. 직류 전동기의 종류 및 특징

• 분권 전동기

- 전기자 회로와 계자 회로가 병렬로 연결
- 전원의 극성이 반대여도 회전방향 불변
- 속도 : 전원 전압이 일정 $\rightarrow$ 자속 ϕ 일정
 $\rightarrow$ 부하가 증가할수록 속도 감소

$$N = \frac{E}{K_1 \phi} = \frac{V - R_a I_a}{K_1 \phi} \propto (V - R_a I_a)$$

- 토크 : **부하전류에 비례**

$$\tau = \frac{pZ}{2\pi a} \phi I_a = \frac{EI}{2\pi n} = K_2 \phi I_a \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

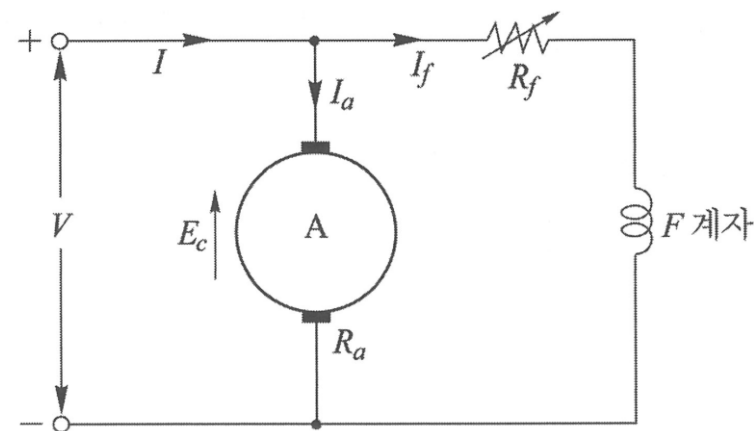


그림 1-23 분권 전동기 회로

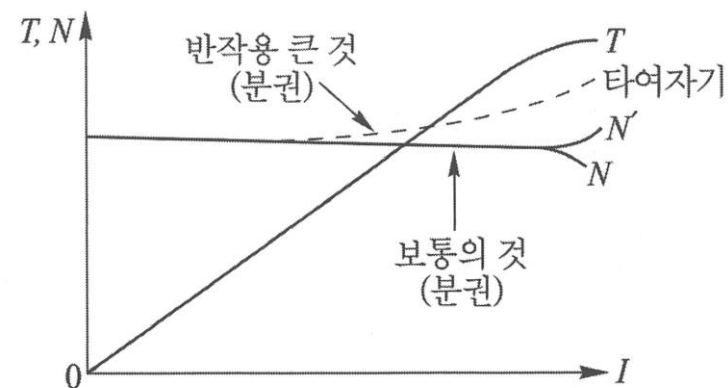


그림 1-24 분권 전동기의 속도 및 토크 특성곡선

11. 직류 전동기의 종류 및 특징

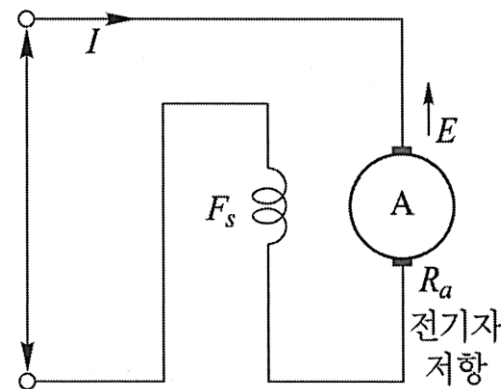
- 직권 전동기

- 속도 : 부하 전류에 반비례

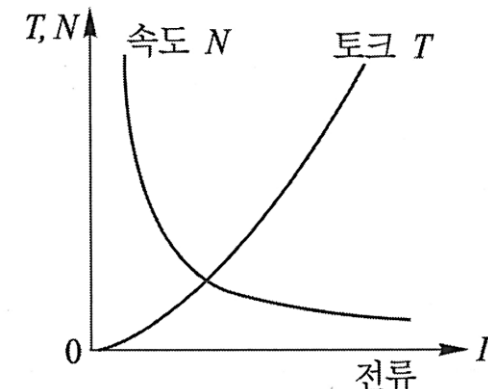
$$N = \frac{V - (R_a + R_s)I_a}{K_1 \phi} = \frac{E}{K_1 \phi} \propto \frac{1}{I_a}, \quad (\because I = I_f = I_a)$$

- 토크 : 부하 전류의 제곱에 비례

- ❖ $\tau = K_a \phi I_a = K_a I_a^2$



(a)



(b)

그림 1-25 직권 전동기의 특성

11. 직류 전동기의 종류 및 특징

- 직류 전동기의 용도

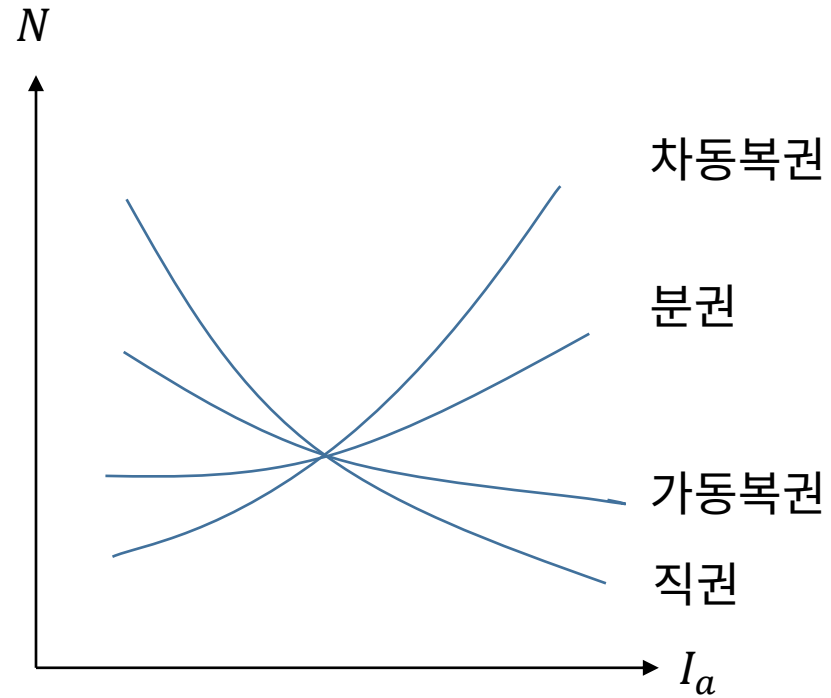
종류	용도
타여자	압연기, 대형의 권상기 및 크레인, 엘리베이터
분권	직류 전원이 있는 선박의 펌프, 환기용 송풍기
직권	전차, 권상기, 크레인과 같이 기동 횟수가 빈번하고 토크의 변동이 심한 부하
가동 복권	크레인, 엘리베이터, 공작 기계, 공기 압축기

- 속도 변동률

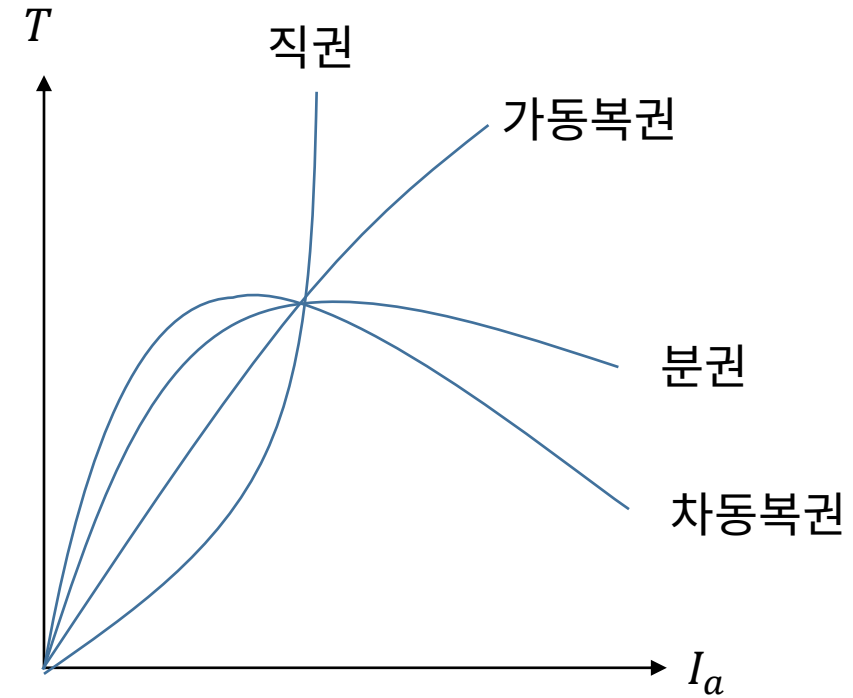
➤ $\epsilon = \frac{N_0 - N_n}{N_n} \times 100 [\%]$, N_0 : 무부하 속도, N_n : 정격 속도

11. 직류 전동기의 종류 및 특징

- 속도 특성 곡선



- 토크 특성 곡선



12. 기동 및 속도 제어

- 직류 전동기의 기동

➤ 기동시 : $N = 0 \rightarrow N = K \frac{V - I_a R_a}{\phi} \rightarrow I_a = \frac{V}{R_a}$ (아주 커짐)

⇒ 전기자회로에 직렬로 기동저항 R_s 추가 → 기동 전류 제한

❖ 기동 전류

❖ 기동 전류의 최대값 : 전부하 전류의 1.5배 전후

❖ 기동 토크 : $\tau = K_2 \phi I_s$

12. 기동 및 속도 제어

- 여기에 수식을 입력하십시오. 속도 제어

$$n = \frac{V - R_a I_a - v_b - e_a}{K_1 \phi} \text{ [rpm]}$$

- ✓ v_b : 브러시의 접촉 저항에 의한 전압 강하
- ✓ e_a : 전기자 반작용 전압 강하

❖ 자속 제어 ⇒

❖ 전기자 저항 변화 ⇒

❖ 전압 제어 ⇒

구분	특성	분권 및 타여자	직권
계자 제어법	효율 양호 정류 악화 정출력 가변 속도	속도 제어 범위는 최저 최고비가 1 : 2 ~ 1 : 4(보상 권선이 있을 때) 정도	무부하에 있어서 ϕ 가 대단히 작으면 속도가 아주 높아지므로 주의가 필요
직렬 저항법	효율 나쁨 정토크 가변 속도	정속도 특성을 잃는다.	직렬 저항법과 전압 제어법을 병용하여 전차 등에 널리 사용되고 있다.
전압 제어법	위의 두 가지에 비하여 고가이나 광범위한 속도 제어가 가능하다.	타여자 전동기에 적용된다. 워드 레오나드 방식, 일그너 방식, 승압기 방식 등이 있다.	

12. 기동 및 속도 제어

- 전기 제동

- 발전 제동

- ❖ 운전중인 전동기를 전원에서 분리 → 발전기로 동작 → 발생한 전력을 열로 소비하는 제동법

- 회생 제동

- ❖ 운전중인 전동기를 전원에서 분리 → 발생한 전력을 제동용 전원으로 사용
(언덕을 내려가는 전차 등에서 사용)

- 플러깅 (plugging) 제동

- ❖ 급제동시 사용하는 방법 (역전제동)

- ❖ 제동시 전동기를 역회전시켜 속도를 급감시킨 후 전동기를 전원에서 분리

13. 손실 및 효율, 정격

- 손실 (slide. 30)

철손 P_i	히스테리시스손	$P_h = \alpha \frac{f}{100} B^2$ [W/kg]	B [Wb/m ²], f [Hz], α 정수
	와전류손	$P_e = \beta \left(\frac{f}{100} B \right)^2$ [W/kg]	β 정수
동손 P_c	전기자 동손	$P_{ca} = R_a I_a^2$ [W]	R_a, R_f 의 저항값은 다음 기준 온도에 있어서의 값으로 한다. A, E, B종 절연 115 [°C], F, H종 절연 155 [°C]
	계자동손	$P_{ef} = R_f I_f^2$ [W]	
동손 P_c	브러시손	$P_b = 2v_b I_a$ [W]	V_b 는 브러시 1개당 다음 값으로 한다. (1) 탄소 및 흑연 브러시 (접속핀 부착) 1 [V] (2) 탄소 및 흑연 브러시 (접속핀 없음) 1.5 [V] (3) 금속 흑연 브러시 (접속핀 부착) 0.3 [V]
기계손 P_m	마찰손 [브러시 베어링]		
	풍손		
표유 부하손 P_s	표유 부하손은 전류의 제곱으로 변화하는 것으로 하고 그 값은 최대의 정격 전류에 있어서 다음과 같이 정한다. - 보상 권선이 없는 직류기 : 기준 출력의 1 [%] - 보상 권선이 있는 직류기 : 기준 출력의 0.5 [%]		
전손실	$P_i + P_c + P_m + P_s$		

13. 손실 및 효율, 정격

- 효율

$$\text{실측 효율 } \eta = \frac{\text{출력}}{\text{입력}} \times 100 [\%]$$

$$\text{규약 효율 } \eta = \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{손실}} \times 100 [\%] \text{ (발전기)}$$

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

13. 손실 및 효율, 정격

- 정격 (rating)

- 지정된 조건하에서 기기를 사용할 수 있는 한도
- 정격출력, 정격전압 등 : 기기에 명시하도록 함
- 정격출력초과 : 권선/철심의 온도가 허용값 초과 → 절연물 인화
- 정격회전속도 초과 : 베어링 등의 기계적 부담 ↑ → 파손 가능

- 정격의 구분

- 단시간 정격 : 지정된 시간 (30분, 1시간 등)의 범위에서 사용할 것을 조건으로 설계
⇒ 장시간 연속해서 사용금지
- 연속시간 정격 : 몇 시간 또는 며칠간 연속하여 사용할 것을 조건으로 설계
- 반복정격 : 주기적으로 반복하는 부하에 사용
- 공칭정격 : 전기철도용 전원기기에 적용

14. 시험

- 토크 측정 시험
 - 보조 발전기 쓰는 방법
 - 프로니 브레이크를 쓰는 방법
 - 전기 동력계를 쓰는 방법 (대형 직류 전동기 토크 측정용)
- 온도 상승 시험
 - 실부하법
 - 반환 부하법
 - ❖ 동일 정격의 두 대의 기기 사용
 - ❖ 한쪽은 전동기, 한쪽은 발전기로 운전하며 상호간 전력 및 동력을 주고받으며 온도 상승 측정
 - ❖ 홉킨스법, 카프법, 블론델법 등이 있음

기초 회로 관련 참고 자료

- 전압, 전류, 저항, 옴의 법칙

- YouTube 채널 : Physics Videos by Eugene Khutoryansky (추천) – 기본 내용

- ❖ <https://www.youtube.com/watch?v=XiHVe8U5PhU> : 전압, 전류, 전기, 자기

- ❖ <https://www.youtube.com/watch?v=m4jzgqZu-4s> : 전압과 전류의 기본 법칙

- ❖ <https://www.youtube.com/watch?v=G3H5IKoWPpY>

- ❖ <https://www.youtube.com/watch?v=u4FpbaMW5sk>

- ❖ <https://www.youtube.com/watch?v=J8A6QUxfk8c> : 정류기 (교류, 직류)

- 위 채널의 동영상 목록

- ❖ <https://www.youtube.com/watch?v=XiHVe8U5PhU&list=PLkyBCj4JhHt9dIWso7GaTU149BklFbo5y&index=1> : 전기관련 비디오 목록