

# 인버터 이론(V1.5)



함께하여 더 큰 가치를!

**LS**partnership®



LS는 믿고 맡길 수 있는 든든한 파트너  
LS인은 함께하면 더 큰 성과를 내는 사람들

## LSpartnership은

Integrity와 주인의식을 가진 LS인들이

상호 존중과 배려, 신뢰의 행동을 통해 함께 탁월한 성과를 만드는 것이며,  
외부적으로도 열린 마음으로 협력하여 함께 성장해가는 것입니다.

LSPartnership은 실천하는 파트너십인 true partnership을 지향합니다.

LS의 모든 구성원은 LSpartership의 실천을 통해

전 세계의 글로벌 파트너와 함께 미래세대를 위한 더 큰 가치를 만들어갈 것입니다.



# 목 차

## 모듈 I. 인버터 기초

이론01. 모터이론 .....	9
이론02. 인버터 이론 .....	23

## 부록) 주변기기

이론01. 고조파(THD) .....	41
이론02. 제동유닛(DBU) & 제동저항(DBR) .....	50
이론03. 역률 .....	54
이론04. EMC Filter .....	55
이론05. Resolver .....	56
이론06. Encoder .....	57



# 모듈 1 . 인버터 기초



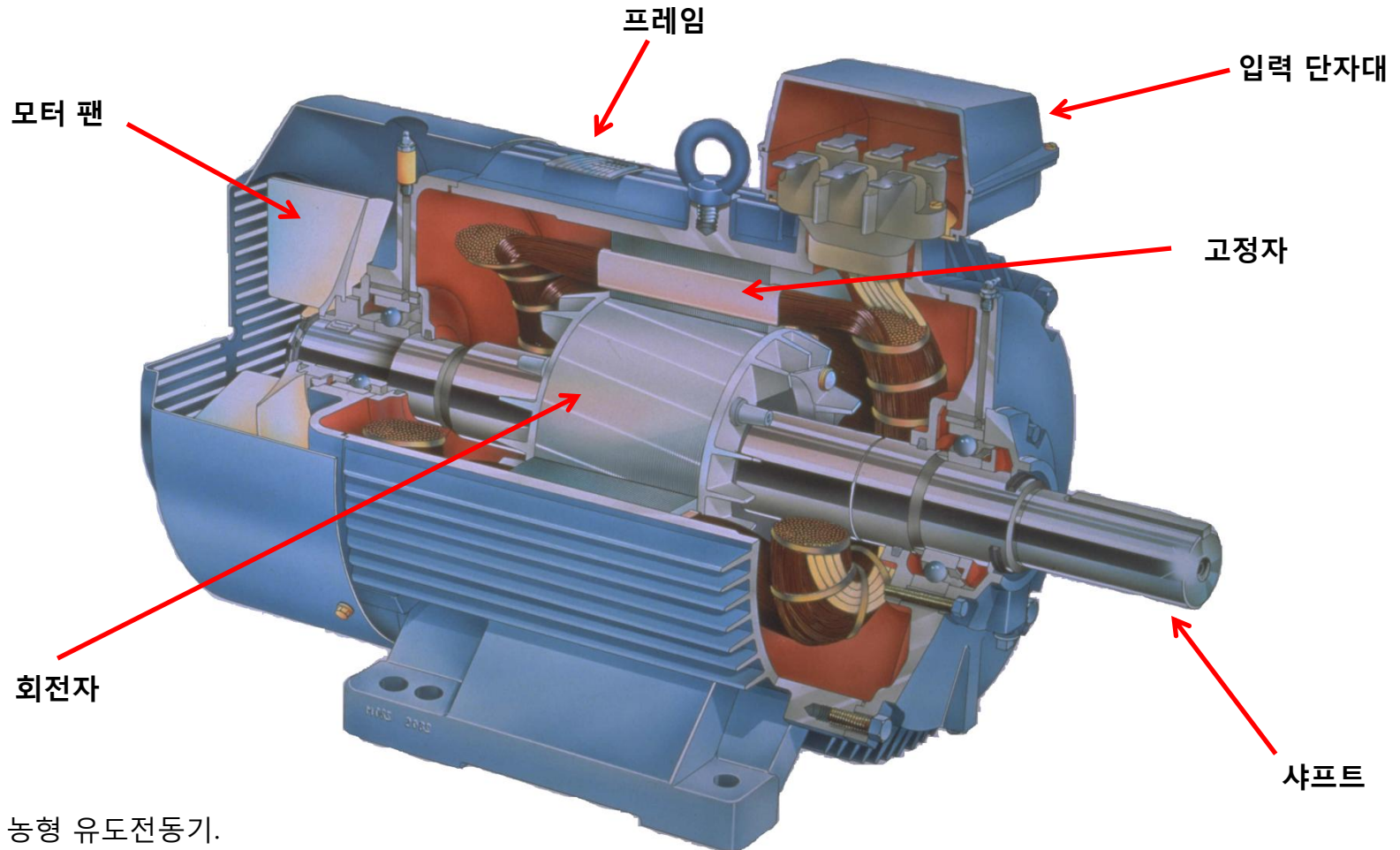


# 01. 모터 이론

## 1. 모터의 정의

전기에너지를 역학적 에너지로 바꾸는 기기. (반대어 : 발전기)

모터는 전원 사양, 운전 방식 등으로 구분되며 3상 농형 유도 전동기가 주로 사용된다.

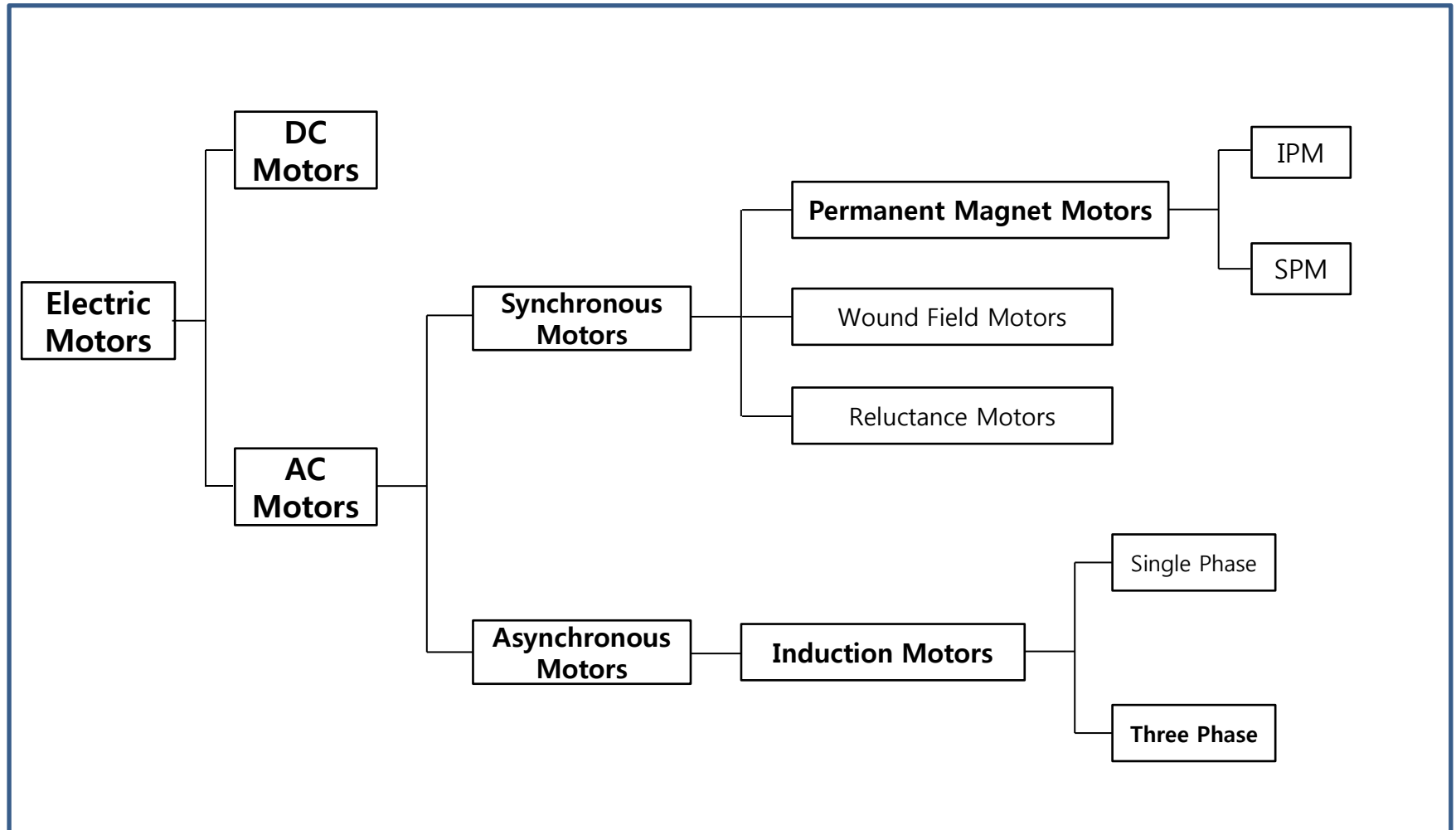


\* 3상 농형 유도전동기.

# 01. 모터 이론

## 2. 모터의 분류

### 2.1 특성에 의한 분류

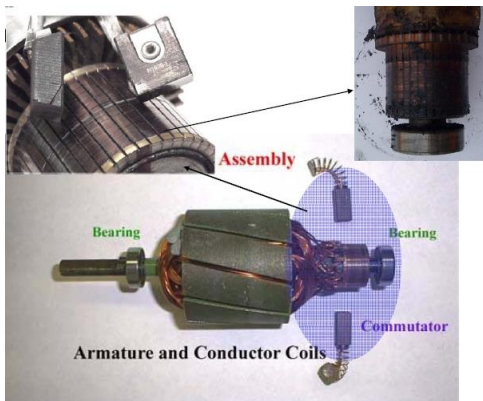


# 01. 모터 이론

## 2. 모터의 분류

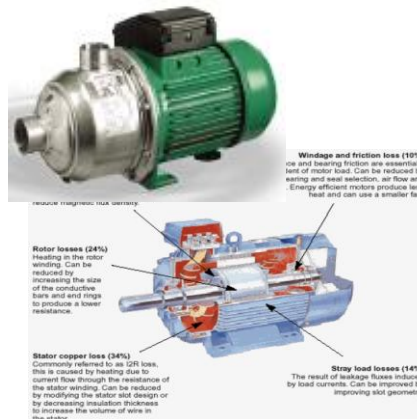
### 2.2 모터의 변천사

#### DC Motor



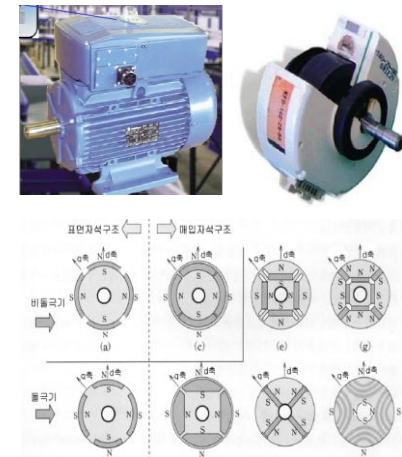
- 초기 모터로서 제어가 쉽다.
- 토크 확보가 유리하다.
- 정류자와 브러시의 마찰로 소손의 가능성이 크다.
- 정기적인 보수가 필요하며, 유지보수 비용이 많이 든다.

#### IM Motor



- 구조가 간단하다.
- 전력전자 기술의 발달로, 현재 가장 많이 사용된다.
- 유지보수 간단하고 비용이 적다.
- 동기전동기에 비해 낮은 효율.

#### PM Motor



- 슬립이 없고, 효율이 좋다.
- 무부하 전류가 필요없다.
- 기계 제작 기술의 발달로, 소형화, 고속화가 가능하다.
- 제작이 힘들고 단가가 높다.
- 대용량 제작이 어렵다.

# 01. 모터 이론

## 3. 모터 주요 이론

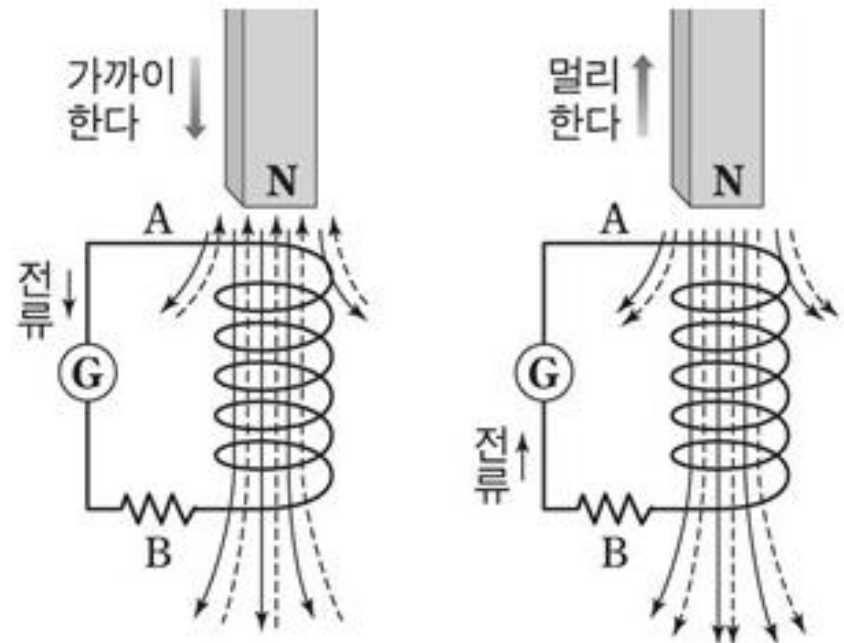
### 앙페르의 오른손 법칙



⊗ 전류가 들어가는 방향    ⊙ 전류가 나오는 방향

유도 기전력의 방향은 코일 면을 통과하는 자속의 변화를 방해하는 방향으로 나타난다. 즉, 유도 전류에 의한 자기장은 자속의 변화를 방해하는 방향이 된다.

### 렌츠의 법칙

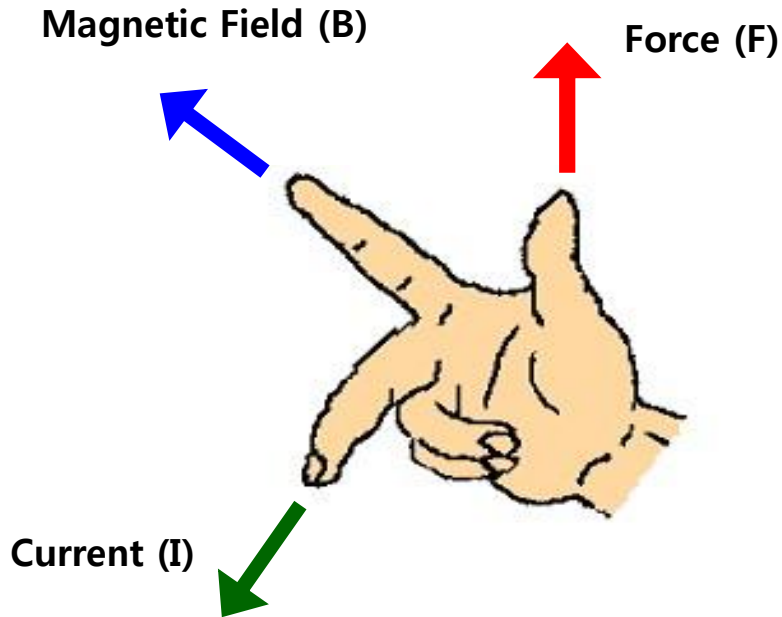


유도 기전력의 방향은 코일 면을 통과하는 자속의 변화를 방해하는 방향으로 나타난다. 즉, 유도 전류에 의한 자기장은 자속의 변화를 방해하는 방향이 된다.

# 01. 모터 이론

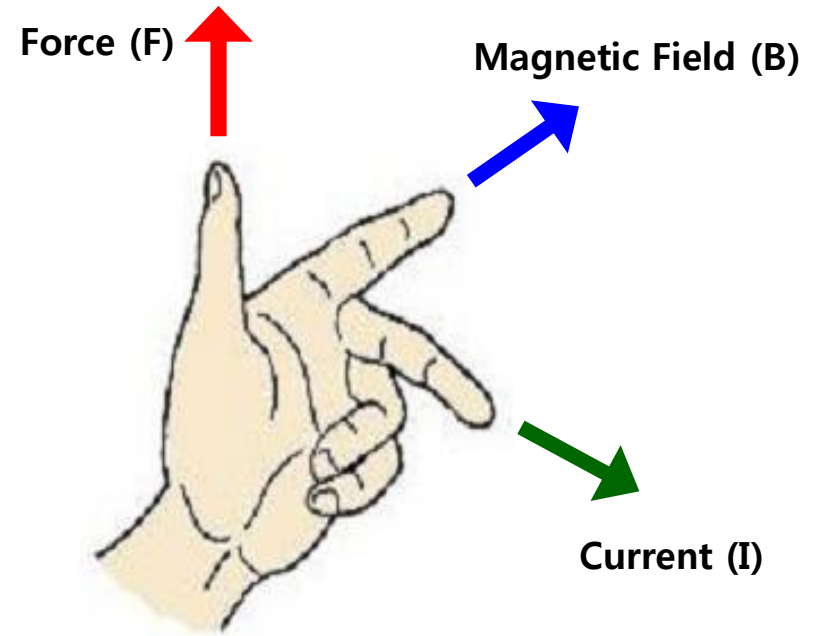
## 3. 모터 주요 이론

### 플레밍의 오른손 법칙



자기장 속에서 도선이 움직일 때 자기장의 방향과 도선이 움직이는 방향으로 유도기전력의 방향을 결정하는 규칙. (발전기 구동원리)

### 플레밍의 왼손 법칙

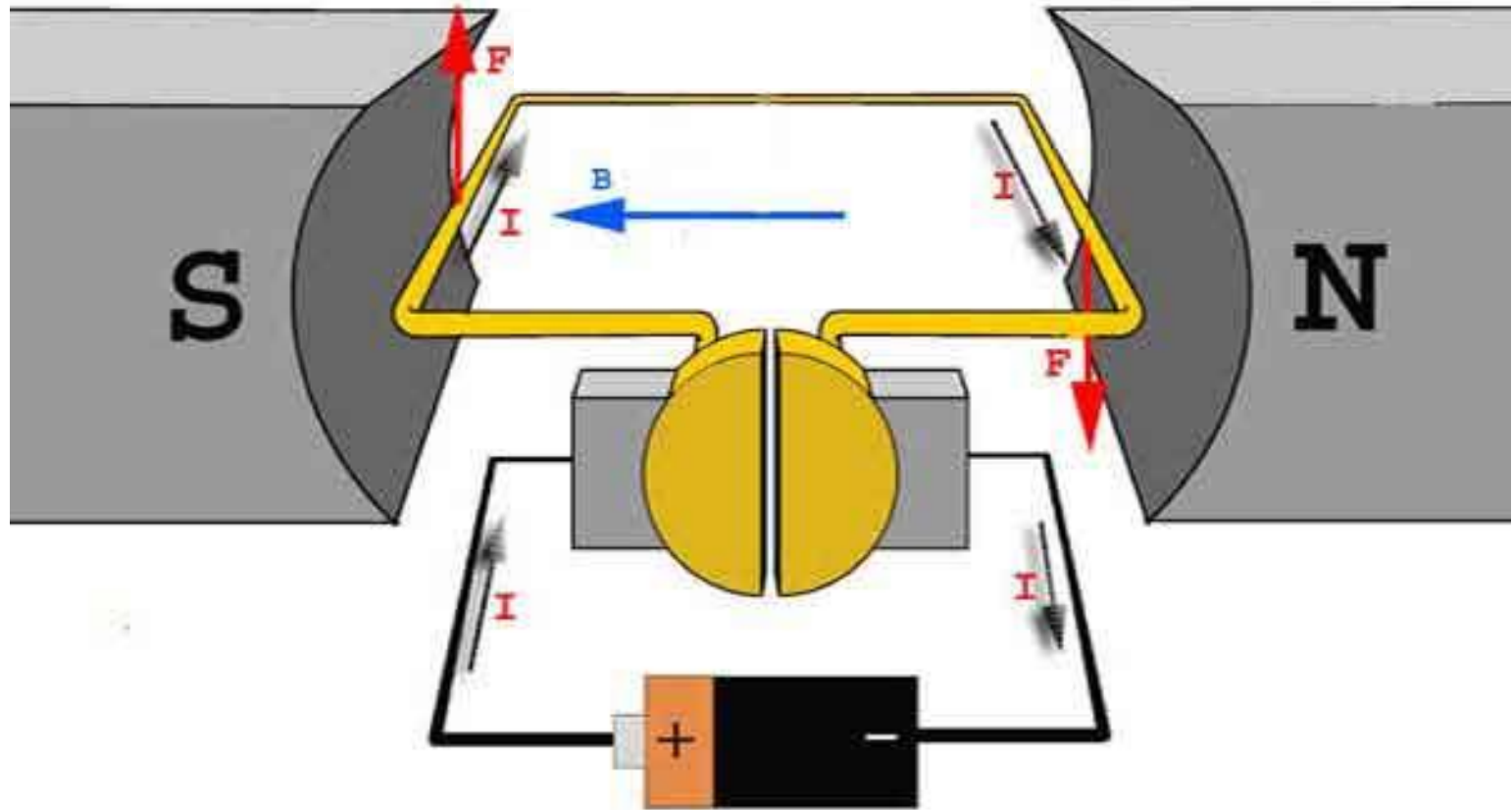


자기장 속에 있는 도선에 전류가 흐를 때 자기장의 방향과 도선에 흐르는 전류의 방향으로 도선이 받는 힘의 방향을 결정하는 규칙. (모터 구동원리)

# 01. 모터 이론

## 4. 모터의 구동 원리

### 4.1 DC 모터의 구동 원리

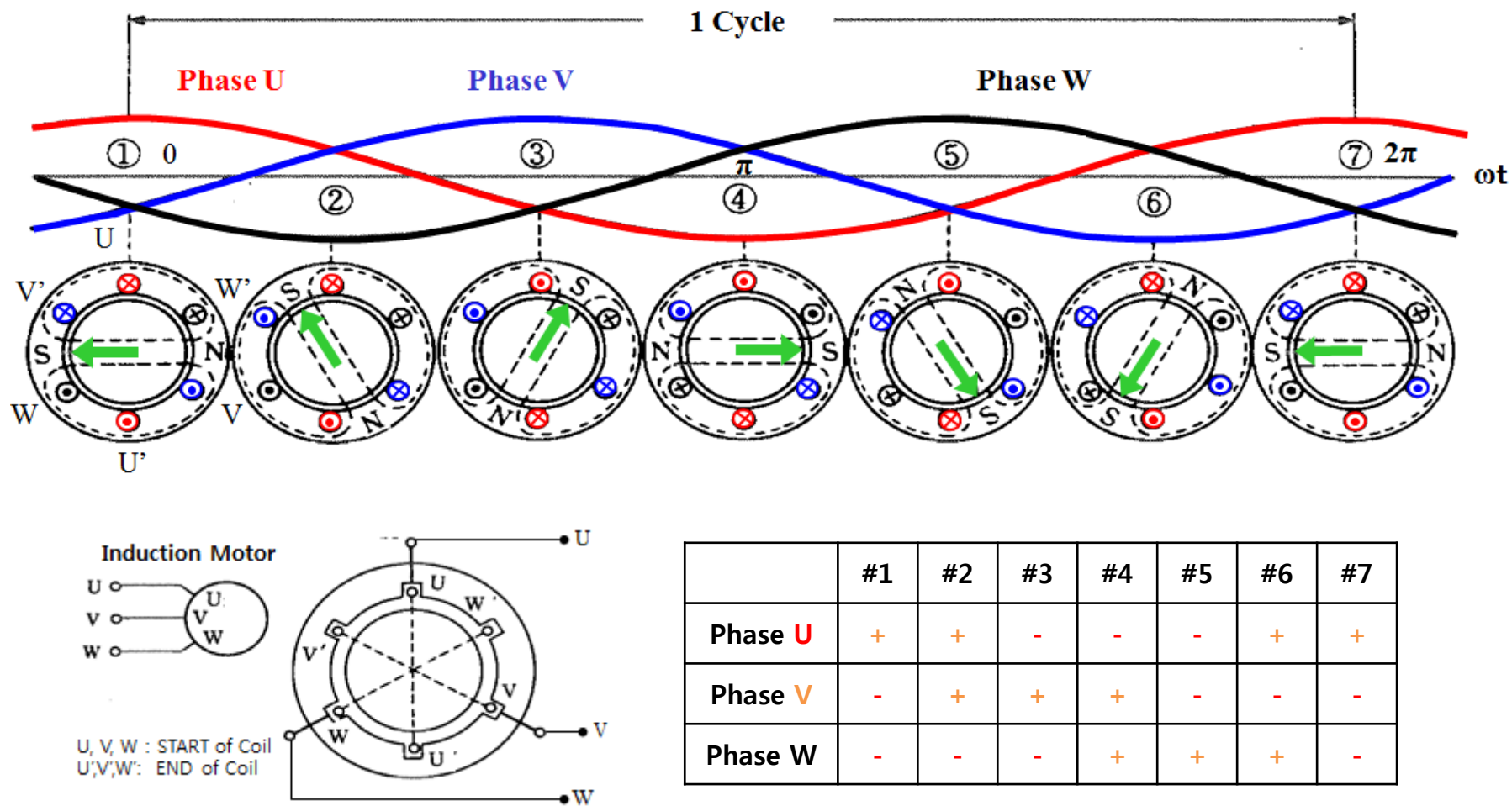




# 01. 모터 이론

## 4. 모터의 구동 원리

### 4.2.1 AC 모터의 구동 원리 : 회전자계의 형성

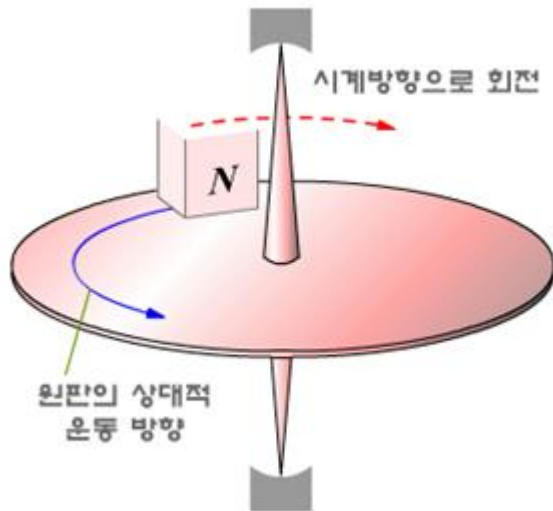


# 01. 모터 이론

## 4. 모터의 구동 원리

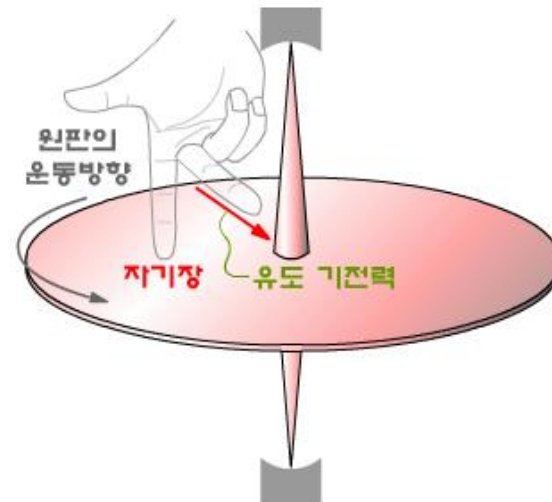
### 4.2.2 AC 모터의 구동 원리 : 아라고의 원판

#### ① 렌츠의 법칙



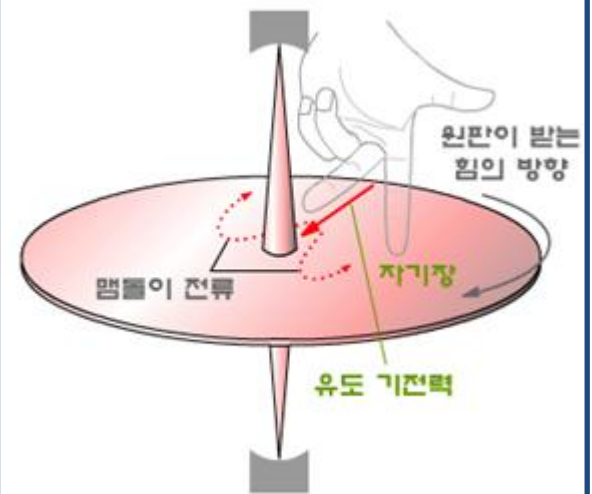
- 렌츠의 법칙을 발생하는 유도기전력에 의해 원판의 상대적 운동 방향이 결정된다.

#### ② 플레밍의 오른손 법칙



- 플레밍의 오른손 법칙에 따라 원판 내의 유도기전력의 방향이 결정된다.

#### ③ 플레밍의 왼손 법칙



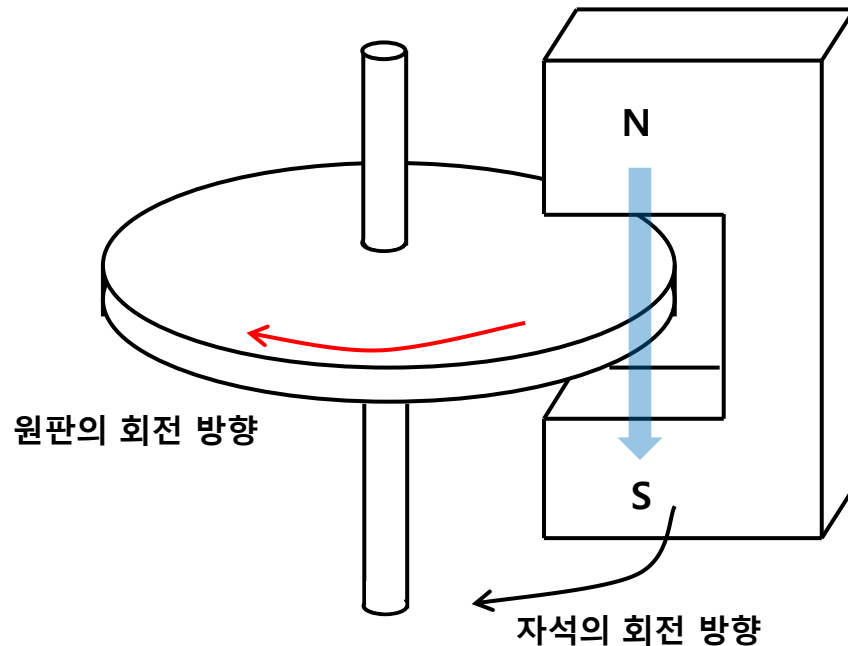
- 플레밍의 왼손 법칙에 따라 원판의 운동 방향이 결정된다.



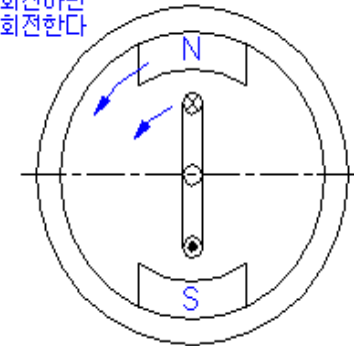
# 01. 모터 이론

## 4. 모터의 구동 원리

### 4.2.2 AC 모터의 구동 원리 : 아라고의 원판



자극이 회전하면  
코일도 회전한다



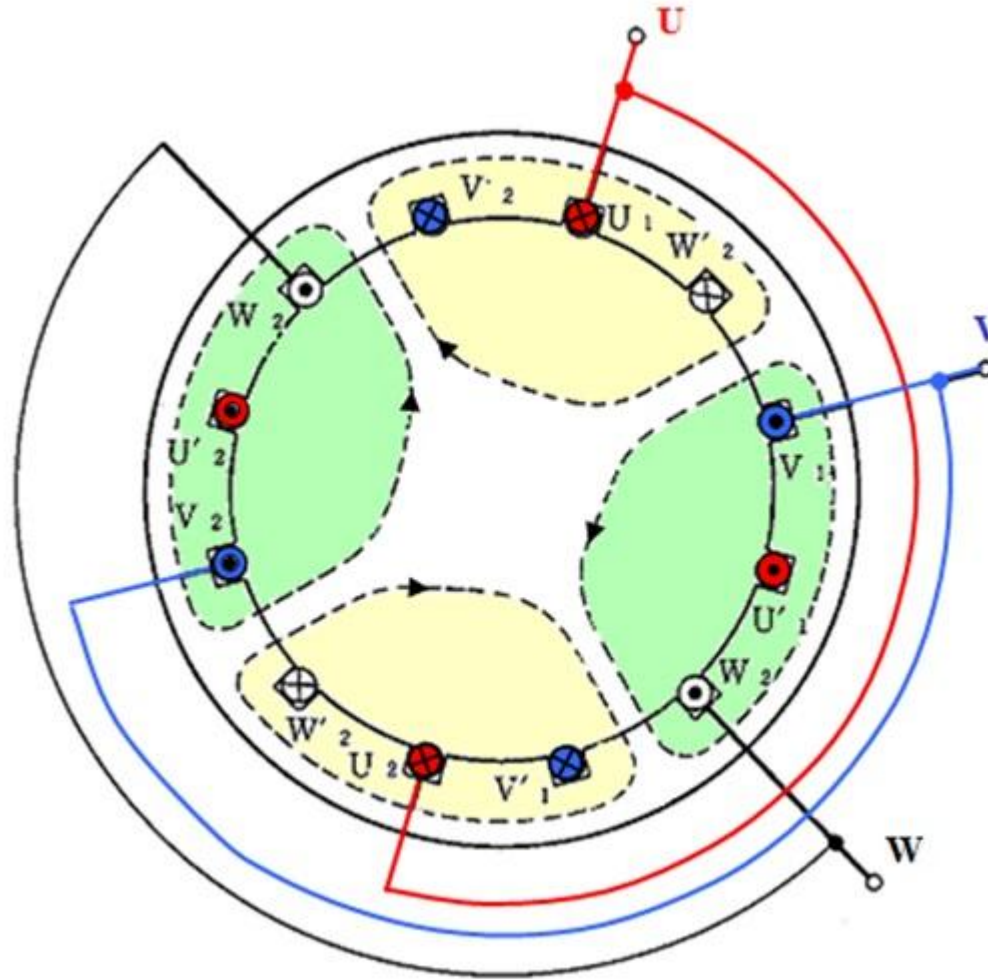
[모터 회전 원리]

영구자석을 화살표 방향으로 이동하면 원판이 이것과 같은 방향으로 회전한다. 이것은 자석의 이동에 의해 원판 상에 발생하는 와전류와 자속과의 사이의 전자력에 의해 토크를 발생하는 것으로, 발명자 아라고(Arago, 프랑스)의 이름을 따서 아라고의 원판이라고 한다.

# 01. 모터 이론

## 4. 모터의 구동 원리

### 4.2.3 AC 모터의 구동 원리 (4-pole)



# 01. 모터 이론

## 5. 모터의 특성

### 5.1 토크 (Torque)

- 물체에 작용하여 물체를 회전시키는 원인이 되는 물리량. 단위는 N·m 또는 kgf·m를 사용한다.
- 모터의 경우는 축이 회전하는 데 힘이 발생하므로 '**회전운동의 힘 = 토크**' 라 표현한다.

$$\tau = K \times \frac{V}{f} \times I$$

K : 상수  
I : 전류

### 5.2 동기 속도 (Synchronous Speed)

- 교류 전원을 사용하는 동기전동기나 유도전동기에서 만들어지는 회전 자기장의 회전 속도를 말한다.
- 동기 속도는 주파수에 비례하고, 자극의 수에 반비례한다.

$$N_s = \frac{120 \times f}{P}$$

$N_s$  : 동기 속도  
 $f$  : 주파수  
 $P$  : 모터 극수

Number of Poles	Frequency	
	50 [Hz]	60 [Hz]
2 [P]	3000 [rpm]	3600 [rpm]
4 [P]	1500 [rpm]	1800 [rpm]
6 [P]	1000 [rpm]	1200 [rpm]
8 [P]	750 [rpm]	900 [rpm]

# 01. 모터 이론

## 5. 모터의 특성

### 5.3 슬립 (Slip)

- 유도전동기의 회전속도는 부하의 경중에 따라 동기속도보다 저하된 속도로 회전하게 되며 동기속도에 비해 저하된 정도.
- 정격토크에서 운전하는 경우 슬립은 통상 3~5%.
- 부하토크가 크게 되면(과부하) 슬립도 크게 되어 모터 전류가 커진다.
- 모터의 명판에 표기된 슬립은 모터의 용량에 해당하는 정격 부하 토크가 걸렸을 경우 나오는 속도이며, 무부하시에는 이보다 빠른 속도로 회전하게 된다.

$$s = \frac{N_s - N}{N_s} \times 100$$

$N_s$  : 동기속도

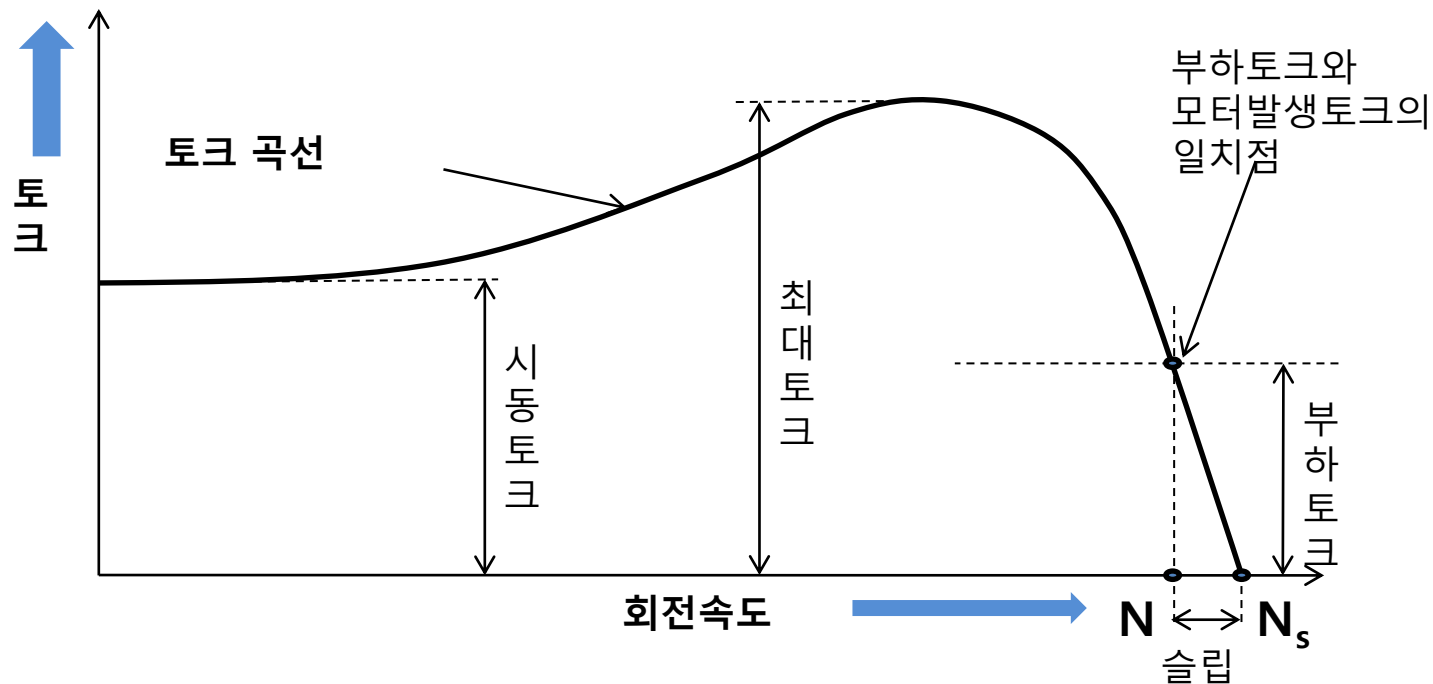
$N$  : 회전속도

# 01. 모터 이론

## 5. 모터의 특성

### 5.4 유도 전동기의 특성 곡선

- 시동토크 : 전동기가 기동할 때 발생하는 토크
- 최소토크 : 기동 시 나타나는 최소값의 토크
- 최대 토크 : 동기속도의 80~90%에서 발생
- 일치점 : 정격속도에서의 토크로 정격토크라고도 함

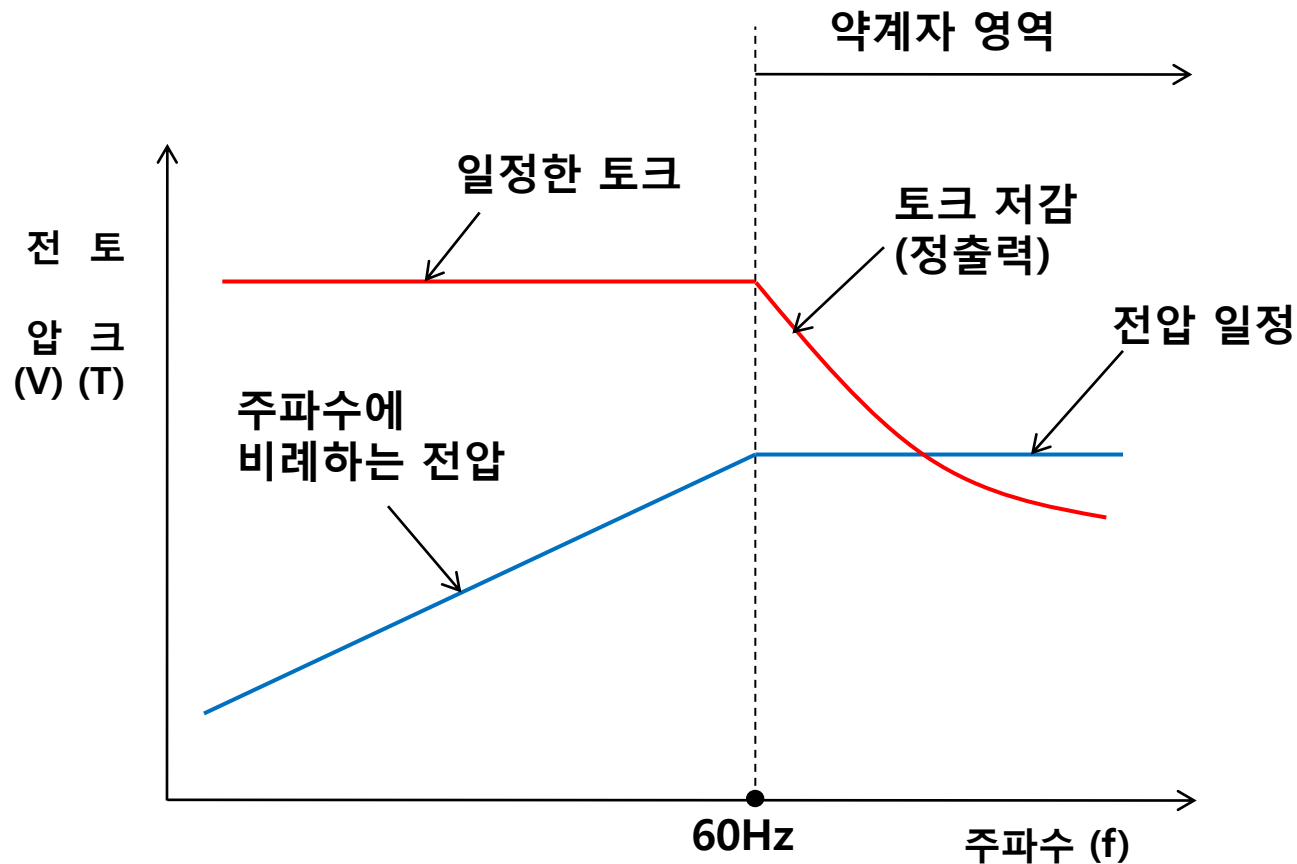


# 01. 모터 이론

## 5. 모터의 특성

### 5.5 유도 전동기의 능력 곡선

- 약계자 영역 : 모터의 정격 속도를 능가하게 되면 출력 전압이 한계치에 도달하여 더 이상 증가하지 않게 되고, 일정한 토크를 보장하지 못하는 약계자 영역에 도달하게 된다.



## 02. 인버터 이론

### 1. 인버터의 정의

#### 1.1 사전적 정의

전기적으로 DC(직류)성분을 AC(교류)성분으로 변환하는 장치

#### 1.2 FA(Factory Automation)적 정의

상용 전원으로부터 전력을 입력받아 자체 내에서 **전압과 주파수를 가변시켜** 모터에 공급함으로써 **모터 속도를 제어하는** 장치  
=> **전압과 주파수를 가변시켜 모터의 속도를 제어하는 장치**

#### 1.3 인버터의 여러가지 명칭

- 1) Inverter
- 2) AC Drive
- 3) VFD : Variable Frequency Drive
- 4) VVVF : Variable Voltage Variable Frequency
- 5) VSD : Variable Speed Drive



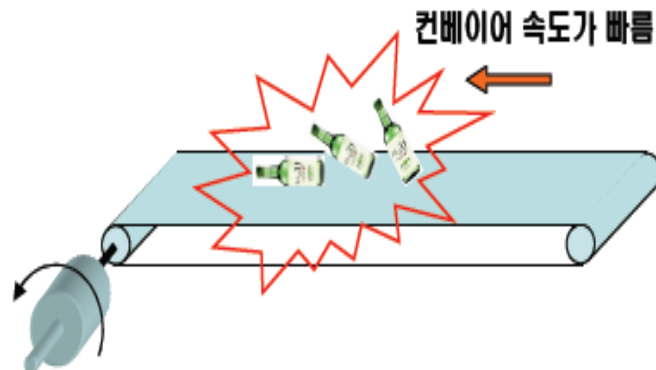
## 02. 인버터 이론

### 2. 인버터의 속도 제어

- 한전에서 공급하는 전기(상용주파수 60Hz)를 그대로 모터에 공급하면 모터는 최대속도인 1,800rpm으로 일정한 속도로 회전함.(4극 모터 기준)
- 인버터를 사용하면 전원의 주파수를 바꾸어 공급하여 원하는 속도로 변경하여 사용할 수 있음.  
예) 출력 주파수를 1 Hz로 하면 모터는 30rpm, 2Hz로 하면 60rpm, 30Hz면 900rpm으로 회전

$$\text{모터 회전 속도 } N \text{ (rpm)} = \frac{120 \times \text{주파수 (f)}}{\text{모터 극수 (P)}} = 30 \times \text{주파수 (f)}$$

주) 일반 모터는 4극임



전동기 회전속도가 빠름 (속도조정 불가)



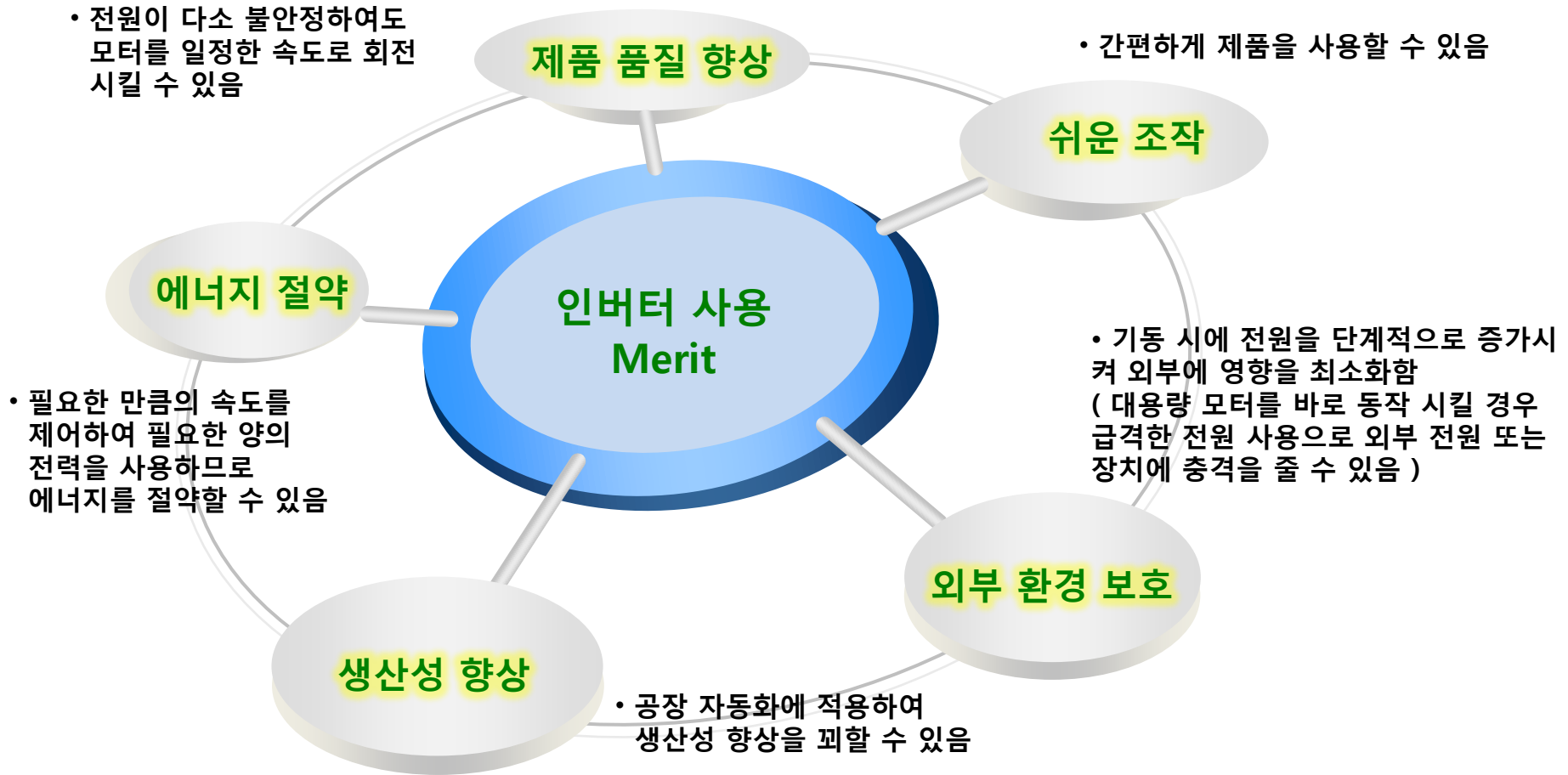
전동기 회전속도를 빠르게 혹은 느리게 조정 가능

인버터는 전력용반도체를 활용한 전력변환으로 **모터 속도를 제어**하는 대표적인 전력전자제품



## 02. 인버터 이론

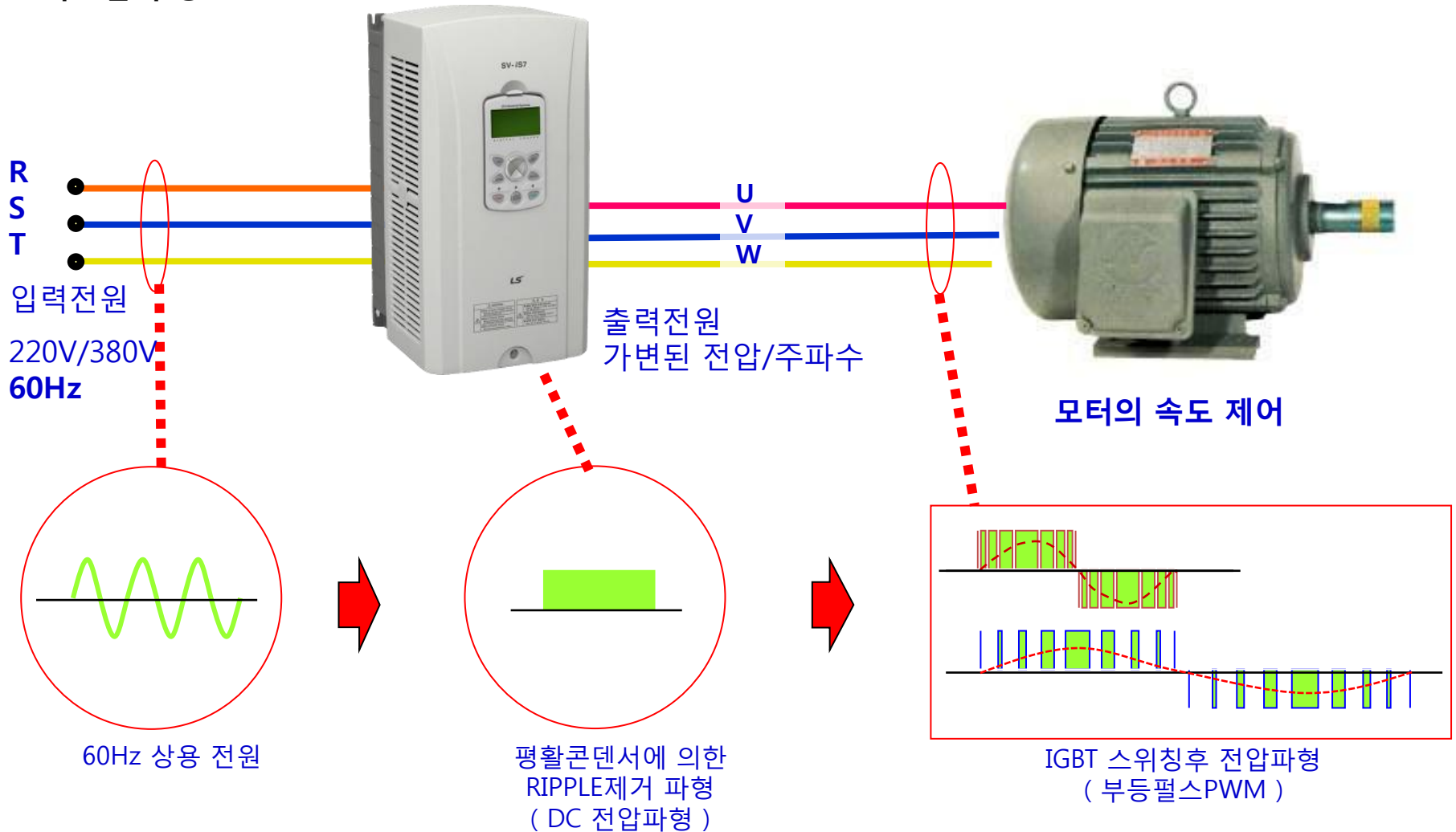
### 3. 인버터의 사용 목적



## 02. 인버터 이론

### 4. 인버터의 구성

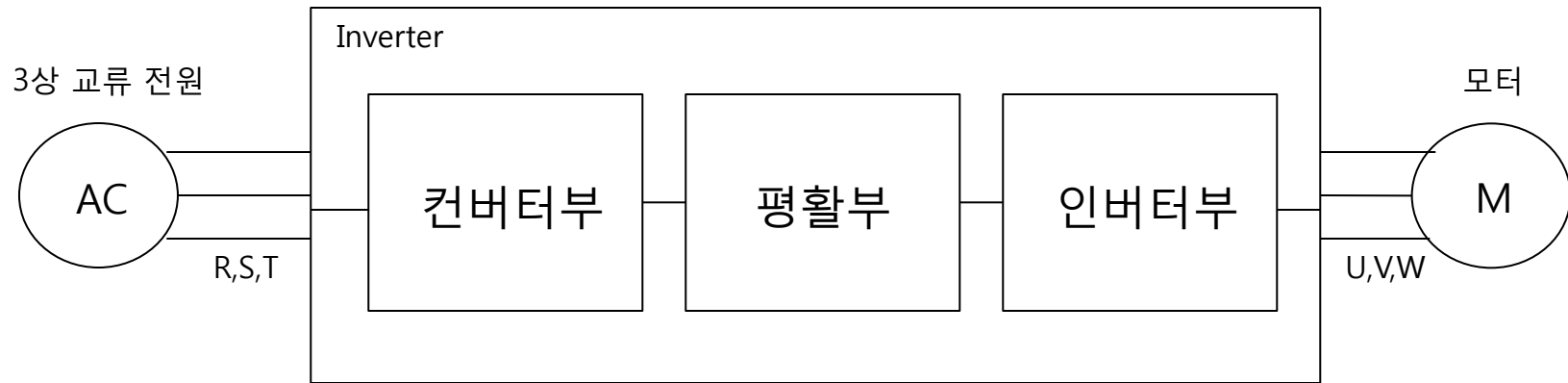
#### 4.1 시스템 구성



## 02. 인버터 이론

### 4. 인버터의 구성

#### 4.2 인버터 구성



#### AC 전원 입력

1. 국가별로 다름.
2. 주파수 고정  
(50Hz, 60Hz)
3. 전압 고정  
(220V, 380V....)



#### AC -> DC -> AC

1. 컨버터부 : AC 정류
2. 평활부 : 정류된 DC 평활
3. 인버터부 : DC를 AC로 변환

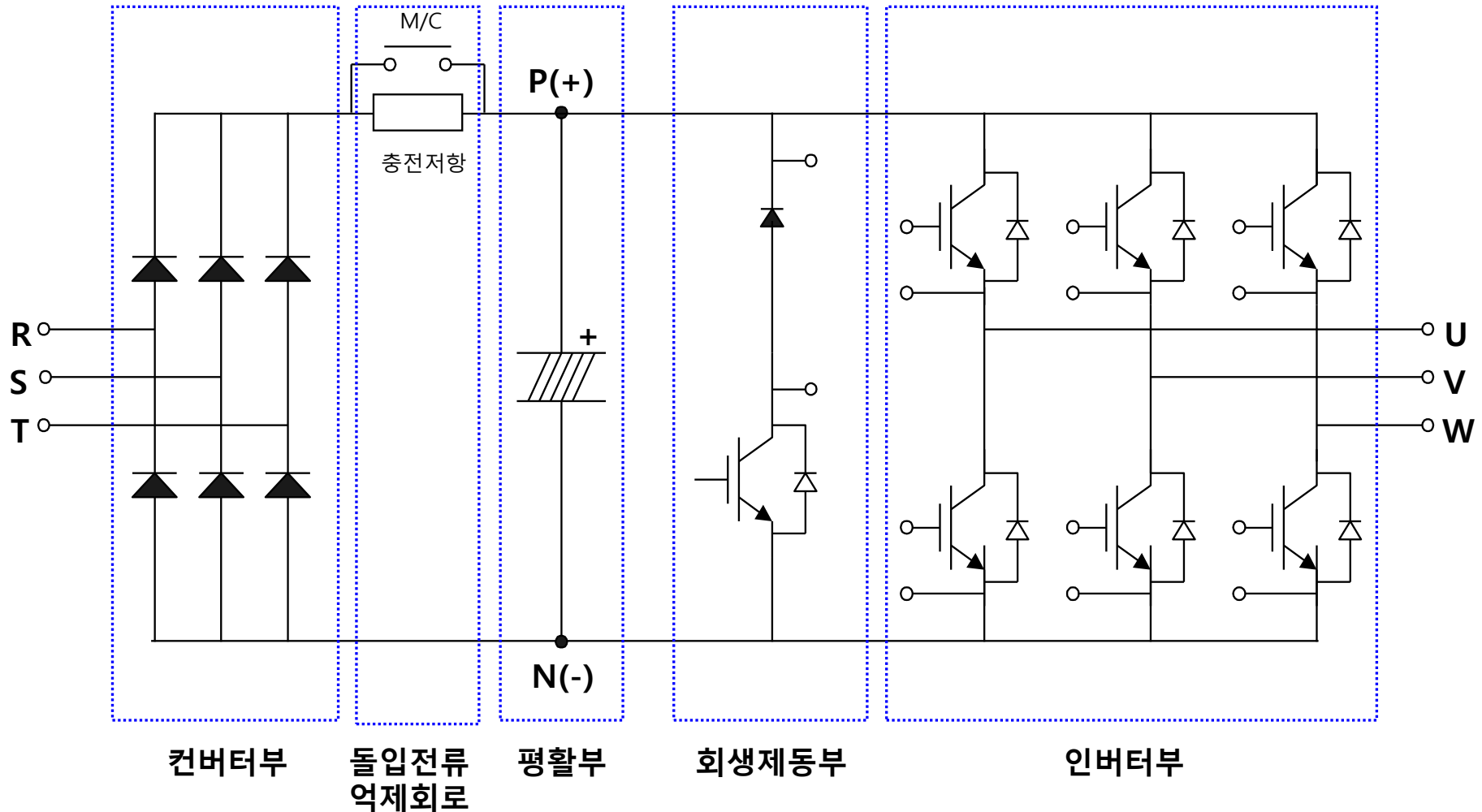


#### AC 전원 출력

1. 국가별로 다름.
2. 주파수 가변  
(0Hz ~ 400Hz)
3. 전압 가변  
(0V ~ 최대 입력 전압)

## 02. 인버터 이론

### 5. 인버터의 동작 원리

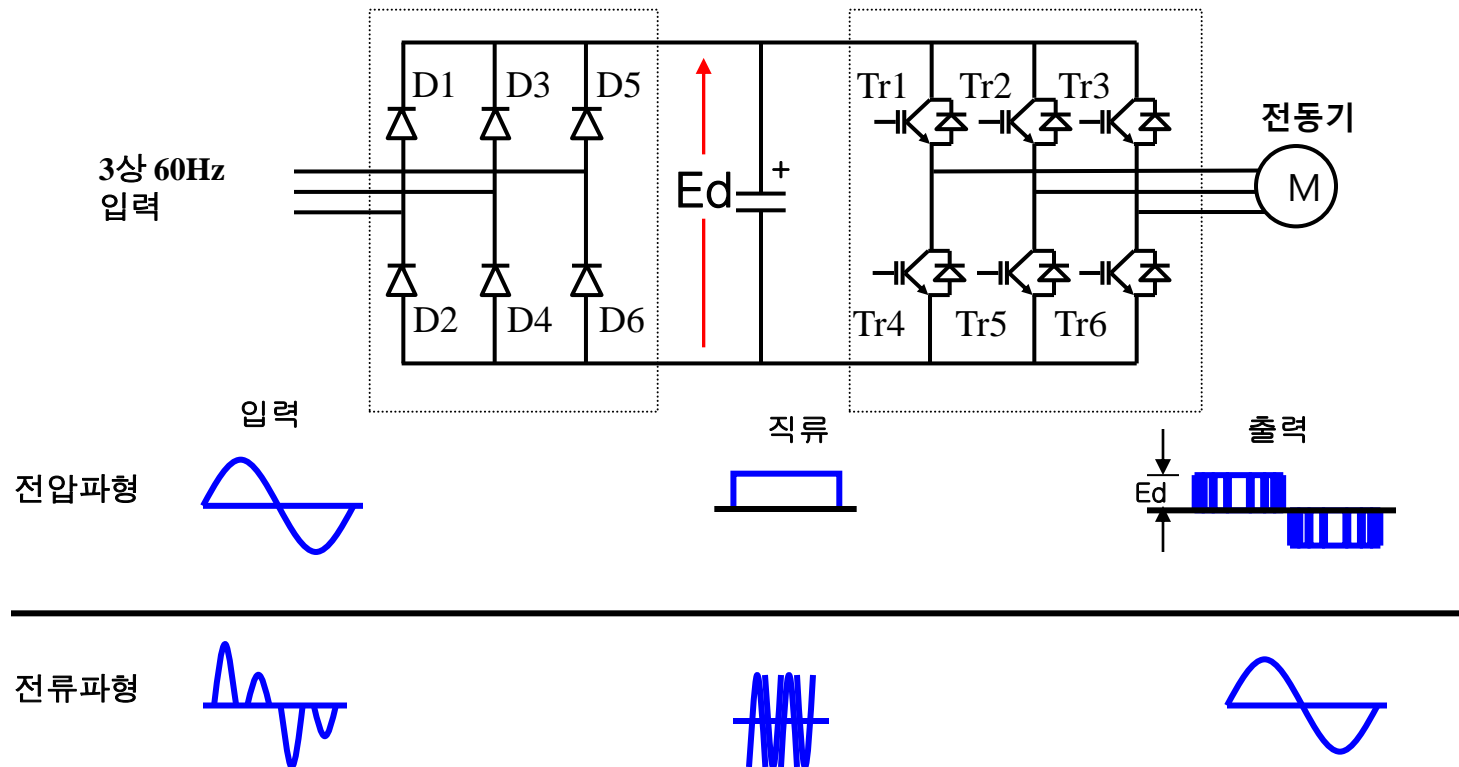


## 02. 인버터 이론

### 5. 인버터의 동작 원리

#### PWM 전압형 인버터

- 직류회로에 콘덴서를 통하여 전압을 일정하게 유지하며 트랜지스터, IGBT, GTO 등을 사용하여 직류 전압을 스위칭하는 방식.
- PWM은 펄스 폭 변조의 의미로 펄스의 폭을 변화시켜 출력 측의 교류전압을 가변한다.
- 효율, 모터의 토크특성이 좋고 다른 방식에 비해 경제적이기 때문에 범용 인버터는 대부분 이 방식을 취하고 있다.

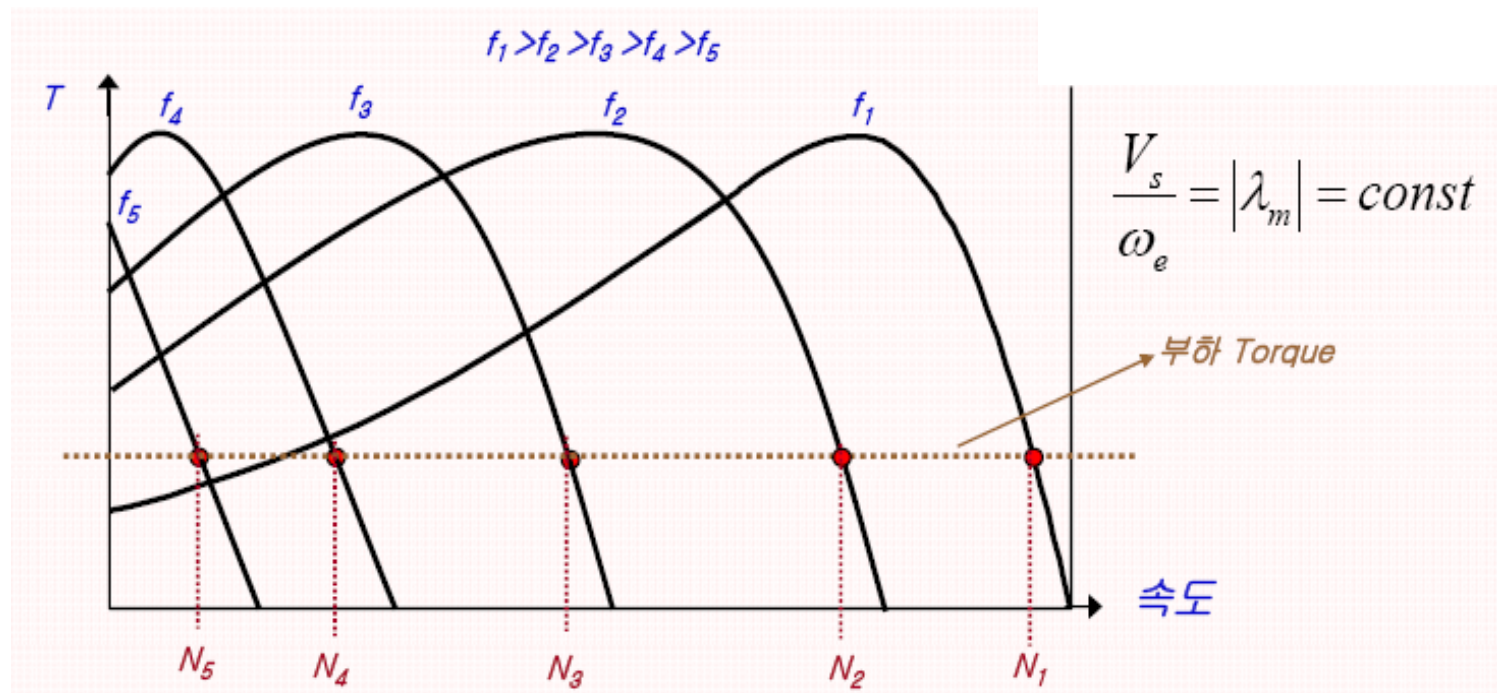


## 02. 인버터 이론

### 6. 인버터의 제어

#### 6.1 V/F 제어

- V/F 제어 방식은 가장 보편적으로 적용되는 제어 방식.
- 주파수가 가변함에 따라 전압도 비례적으로 가변되어 출력되도록 설계된 방식이다. 주파수를 변화시킬 때 V/F 비가 일정하면 모터가 발생시킬 수 있는 토크도 일정하다는 성질을 이용하여 주파수를 변화시킬 때 그에 상응하는 전압을 변화시켜 제어한다. 다른 제어방식에 비해 성능은 떨어지나 경제성, 범용성이 높다.

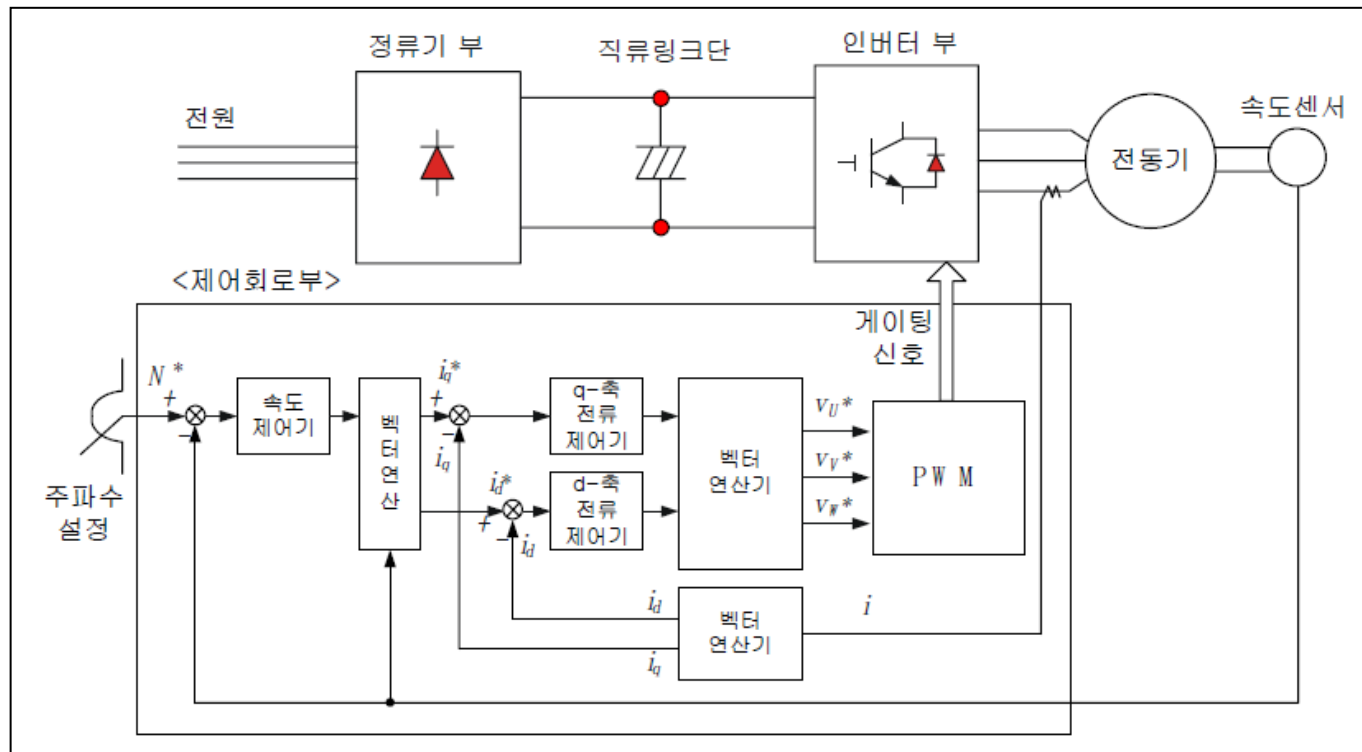


## 02. 인버터 이론

### 6. 인버터의 제어

#### 6.2 Vector 제어

- 벡터제어란 유도전동기의 고정자에 이입되는 전류를 토크분 전류( $i_q$ )와 자속분 전류( $i_d$ )로 나누어 제어하는 방식.
- 벡터제어는 전류를 제어할 수 있으며, 속도 제어의 정밀도가 높고 강력한 토크특성을 얻을 수 있다.

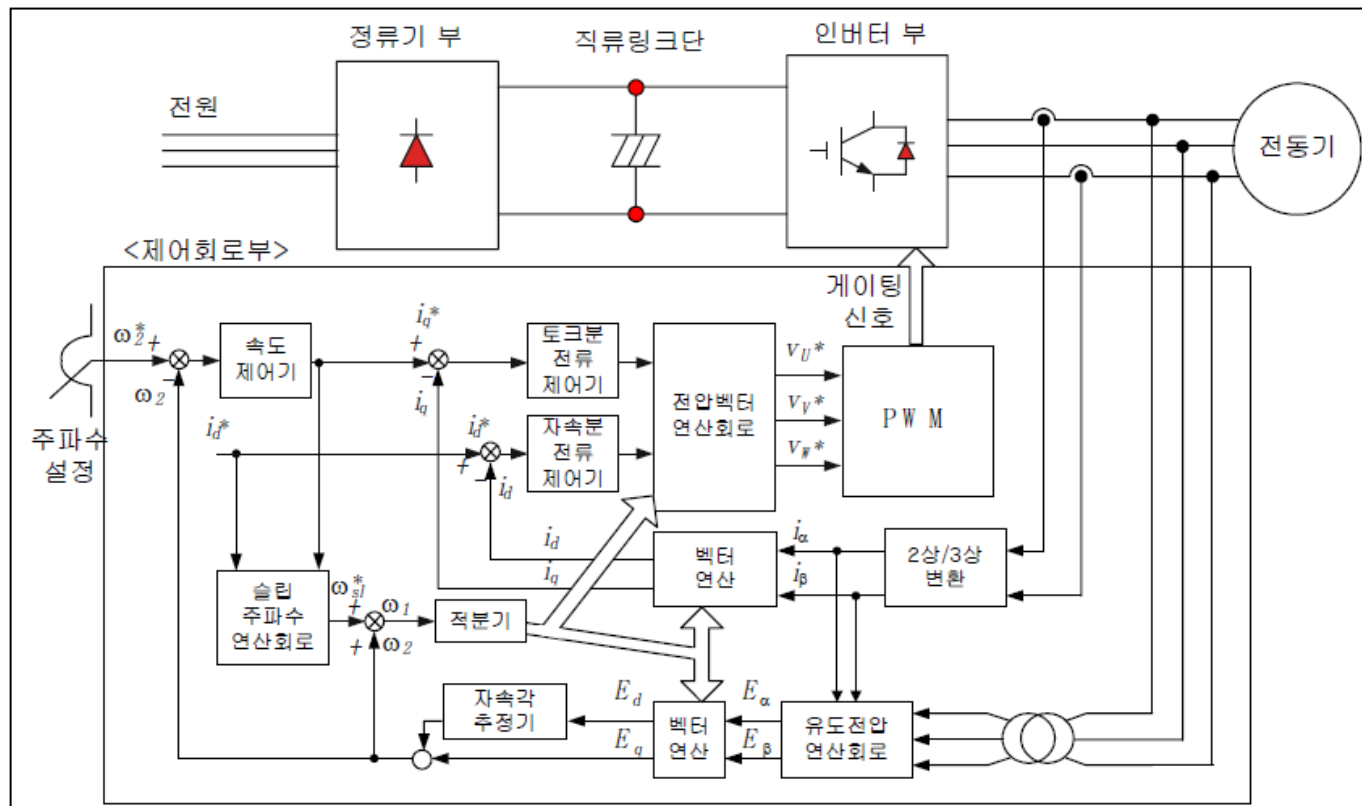


## 02. 인버터 이론

### 6. 인버터의 제어

#### 6.3 Sensorless Vector 제어

- 센서리스 벡터제어는 벡터제어의 일종으로, 벡터제어에 준하는 제어 성능을 나타낸다.
  - 벡터제어 방식은 속도 검출 센서를 통하여 모터의 실제 속도를 피드백 받아 정밀 속도 제어를 수행한다.
- 허나 센서리스 벡터방식에서는 속도 검출 센서가 없어, 모터의 실제 속도를 피드백 받을 수는 없으나, 속도 추정 작업을 통하여 실제 속도와 근사한 값을 추정하고 이를 보상하여 벡터제어방식에 준하는 속도 및 토크제어가 가능하다.





## 02. 인버터 이론

### 6. 인버터의 제어

#### 6.4 각 제어 방식의 특징

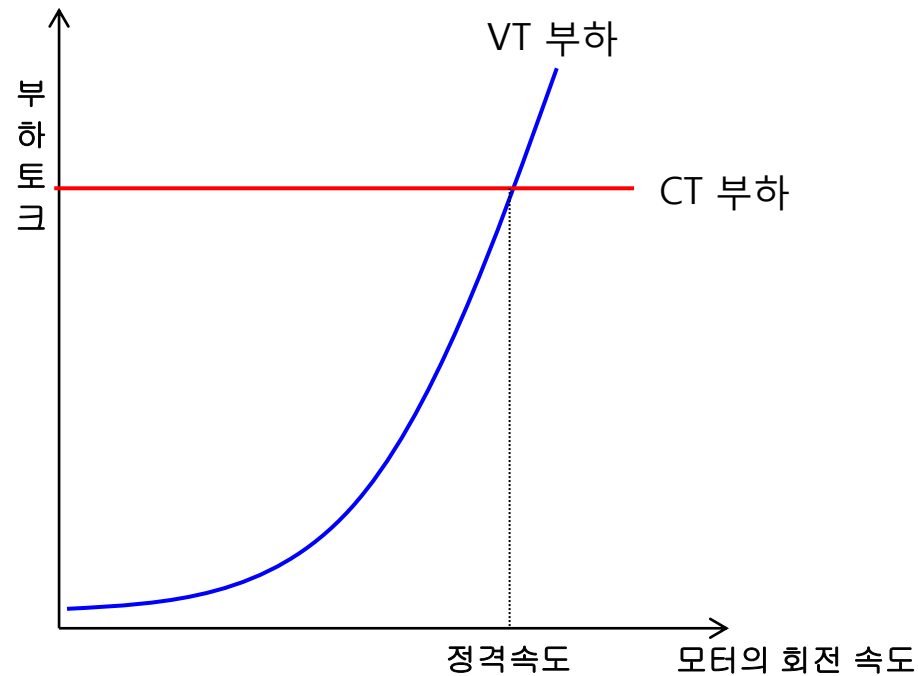
구분	V/F제어	센서리스 벡터제어	벡터제어
속도 제어 정도	낮음	우수	매우 우수
Encoder	없음	없음	있음
기동 토크	낮음	높음	매우 높음
토크 제어	불가	가능	가능
거리 제한	없음	없음	있음
H/W 구성	간단	비교적 간단	복잡
S/W 구성	간단	복잡	복잡
모터 시정수	불필요	필요	필요
응답성	부하 변동시 낮음	부하 변동시 좋음	부하 변동시 뛰어남
저속 토크특성	떨어짐	우수	매우 우수

## 02. 인버터 이론

### 7. 인버터의 에너지 절감

#### 7.1 부하의 종류

- CT (Constant Torque) 부하 : 모터의 회전 속도에 따라 부하 토크가 일정한 부하.
- VT (Variable Torque) 부하 : 모터의 회전 속도에 따라 부하 토크가 변화하는 부하.

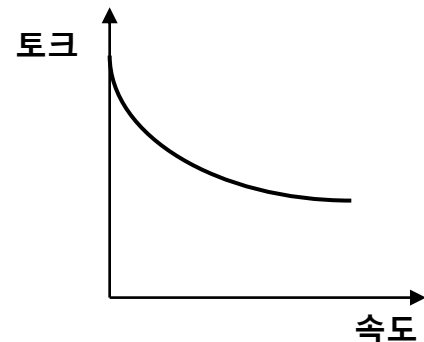
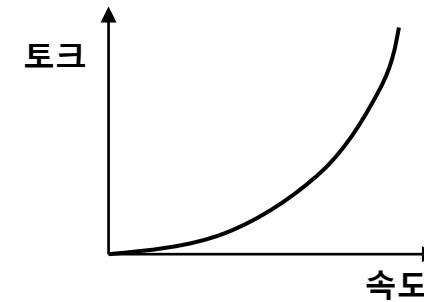
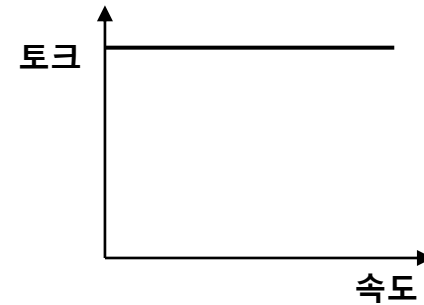


## 02. 인버터 이론

### 7. 인버터의 에너지 절감

#### 7.2 부하별 토크 특성

- 정토크 특성 ( CT : Constant Torque )  
: 속도에 무관하게 일정한 토크를 필요로 하는 특성을 가진 부하  
예) 컨베이어, 엘리베이터
- 2승 저감 토크 특성 ( VT : Variable Torque)  
: 토크가 속도의 2승에 비례하여 증가하는 특성을 가진 부하  
예) 팬, 펌프, 블로워
- 정출력 특성 ( CP : Constant Power )  
: 저속운전 및 기동 시에 큰 토크특성이 요구되지만,  
고속에서는 필요한 토크가 작아도 되는 특성을 가진 부하  
예) 와인더, 목공, 금속 절삭용 톱, 탈수기



## 02. 인버터 이론

### 7. 인버터의 에너지 절감

#### 7.3 인버터 적용시, 팬/펌프 부하의 특징

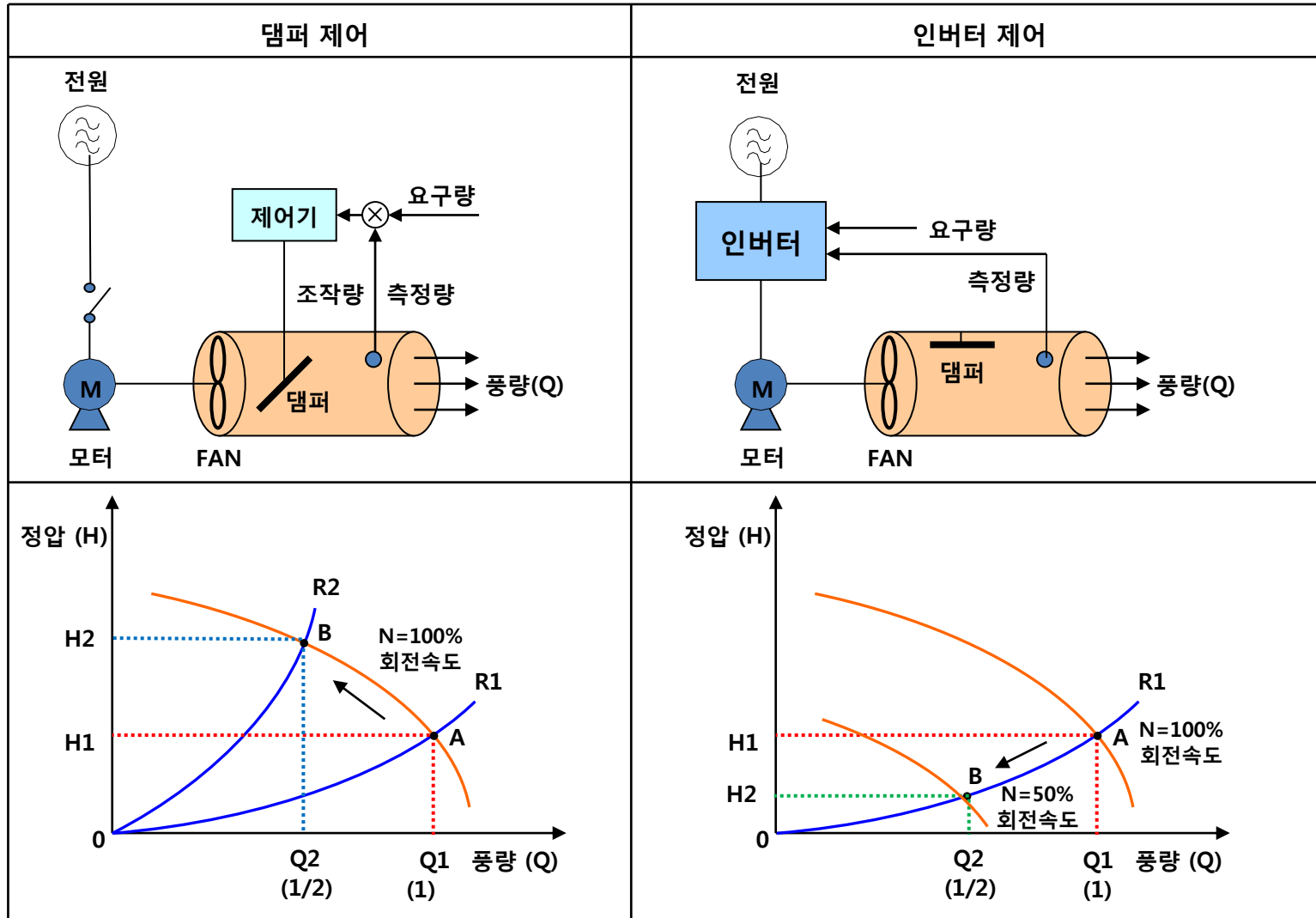
- 2승 저감 부하특성으로 인버터 적용시 에너지 절감 효과가 가장 우수하다.
- 안정적인 기동 및 정지로 부드러운 운전 가능.
- 인버터의 보호기능으로 유지보수성의 향상.
- 배관의 과다압력 방지 및 누수 방지
- 팬, 펌프 운전소음 감소
- 팬, 펌프, 블로워의 특성은 전동기의 회전 속도와 유량, 압력과의 비례식으로 표현할 수 있다

- |                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| - 풍량(유량)은 모터의 회전속도에 비례       | $Q \propto N$                |
| - 정압은 모터 회전속도의 2승에 비례        | $H \propto N^2$              |
| - 동력(Power)은 모터 회전속도의 3승에 비례 | $P = H \times Q \propto N^3$ |

## 02. 인버터 이론

### 7. 인버터의 에너지 절감

#### 7.3 에너지 절감 원리



## 02. 인버터 이론

### 7. 인버터의 에너지 절감

#### 7.3 에너지 절감 원리

- P1 : 인버터 설치전 동력
- P2 : 인버터 설치후 동력
- N1 : 인버터 설치전 모터 회전수 (60Hz)
- N2 : 인버터 설치후 모터 회전수 (50Hz, 55Hz)

##### ■ 55Hz 운전시

$$P2 = \left(\frac{N2}{N1}\right)^3 \times P1 = \left(\frac{55}{60}\right)^3 \times P1 = 0.77 \times P1$$

$$\text{절감율} = 1 - \left(\frac{P2}{P1}\right) = 23\%$$

##### ■ 50Hz 운전시

$$P2 = \left(\frac{N2}{N1}\right)^3 \times P1 = \left(\frac{50}{60}\right)^3 \times P1 = 0.58 \times P1$$

$$\text{절감율} = 1 - \left(\frac{P2}{P1}\right) = 42\%$$

■ 인버터 효율 및 기타 영향을 감안하였을 때,

55Hz 운전시 **평균 20%**, 50Hz 운전시 **평균 37% 절감** 가능함

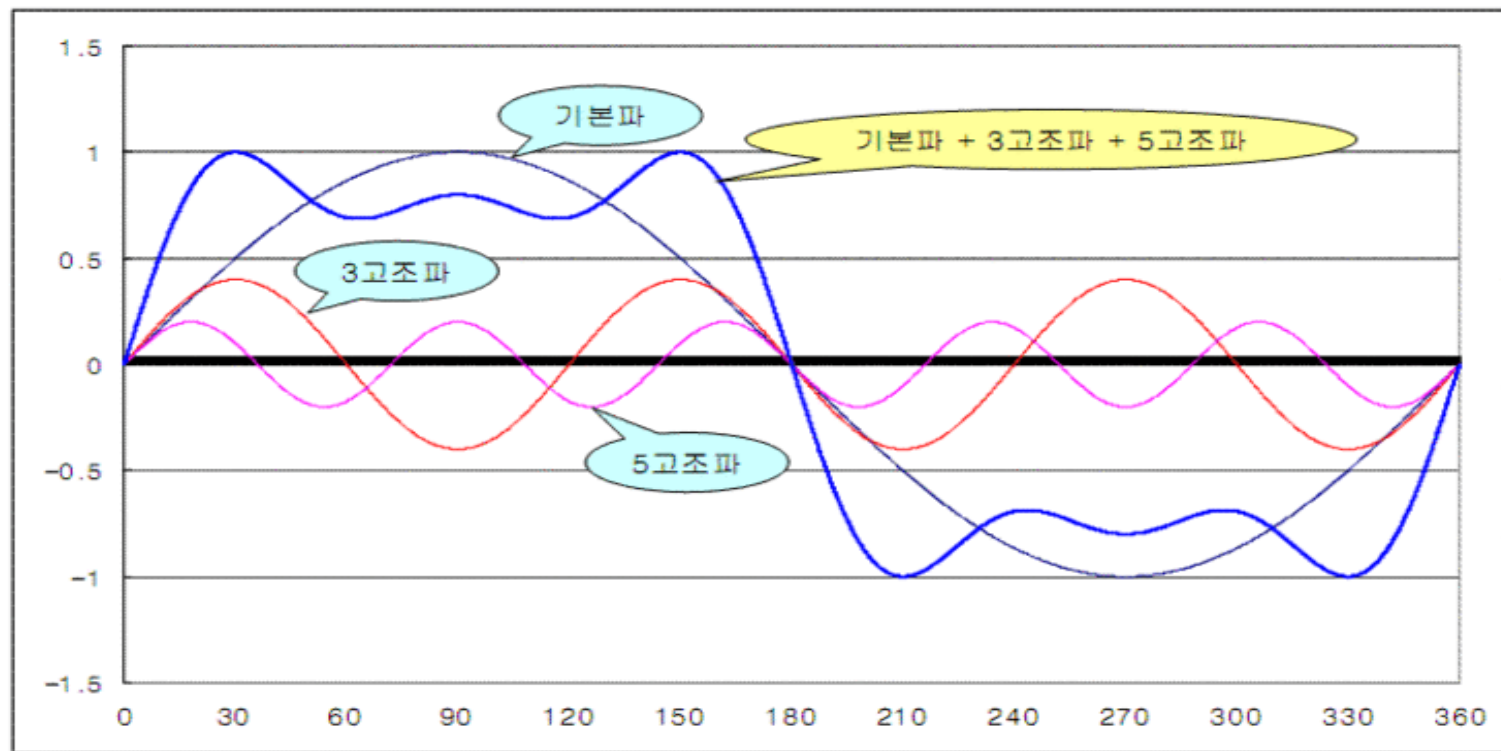
# 부록) 주변 기기





## (1) 고조파의 정의

: 고조파는 기본파에 대하여 그의 정수 배의 주파수를 말하는 것으로, 통상 왜형파는 그림과 같이 기본파와 고조파로 분해해서 생각할 수 있다. 이런 왜형파는 각종 계전기 오동작, 정밀 전자기기의 동작 불량, 기기 손상 및 과열 등의 원인이 될 수 있다.



## (2) 고조파의 발생원

: 고조파의 발생원은 대부분 전력전자소자를 사용하는 기기에서 발생된다. 그 종류로는 변환장치, 회전기기, 변압기, 컴퓨터 및 다른 전자장치 등이 있다.

## (3) 고조파의 영향

: 인버터의 고조파 발생원은 지속적이고 고조파 전류 성분이 크기 때문에 전력계통의 사고 및 장애 발생이 빈번하여 전력계통 운영에 많은 문제점을 유발한다.

- 1) 콘덴서의 과열, 과전압, 소음 발생
- 2) 발전기나 회전기, 변압기의 손실 증대 및 과열
- 3) 제어 시스템의 불안정
- 4) 이상 공진에 의한 고조파 과전압 기기에의 영향
- 5) 차단기의 오동작 및 통신 장애 및 기타 기기의 오동작
- 6) 통신회로에의 잡음 및 유도 장애
- 7) 역률 저하

## (4) 종합 고조파 왜형률 (THD : Total Harmonics Distortion)

: 아래 식에서와 같이 고조파 전압 실효치와 기본파 전압 실효치의 비로서 나타내며 고조파 발생 정도를 나타내는데 많이 사용된다.

$$THD = \frac{\sqrt{(V_2)^2 + (V_3)^2 + \dots + (V_n)^2}}{V_1} \times 100$$

$V_1$  : 기본파 전압

$V_n$  : 각 차수별 고조파 전압

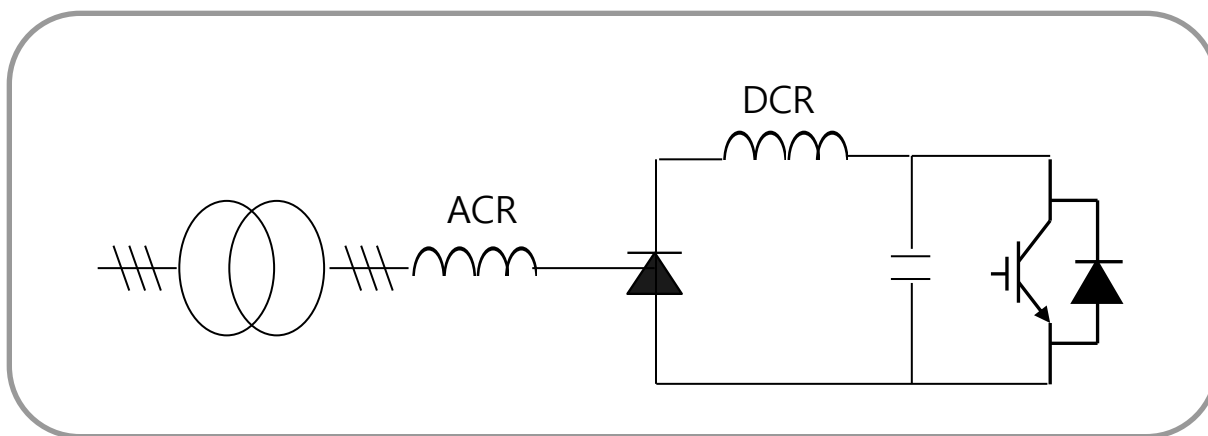
## (5) 고조파 발생 요소

요소	효과
모터 용량의 증가	고조파 전류를 증가시킴
부하량의 증가	고조파 전류를 증가시킴
DC or AC Reactor	고조파 전류를 감소시킴
Rectifier의 pulse 수의 증가	고조파 전류를 감소시킴

## (6) 고조파 저감 방법

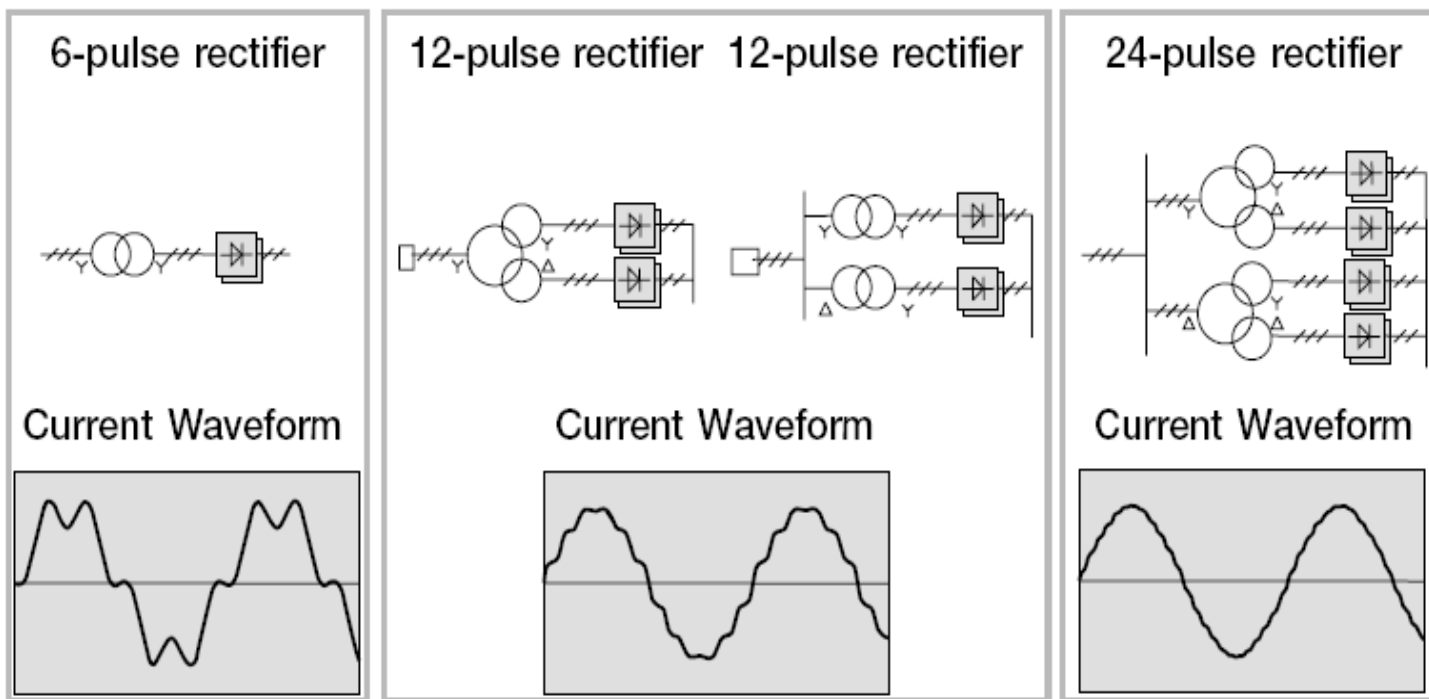
### 1) 교류 리액터(AC Reactor) 및 직류 리액터(DC Reactor) 설치

고조파 발생 부하장치의 1차 측에 교류 리액터(ACR)를 부착하여 전원의 Total 임피던스를 크게 함으로써 전원 전류 내에 포함되어있는 고조파를 저감하거나, 또는 직류 리액터(DCR)을 고조파 발생 부하장치의 직류회로에 삽입하여 직류파형의 리플을 작게 하고, 리액터에 의한 한류작용으로 전류의 변화를 완만하게 하여 고조파를 저감시킬 수 있다. 교류 리액터가 있는 경우 고조파 발생량을 약 50% 저감하고 있고, 또한 직류 리액터가 있는 경우는 고조파 발생량을 55% 이상 저감하고 있는 것을 알 수 있다.



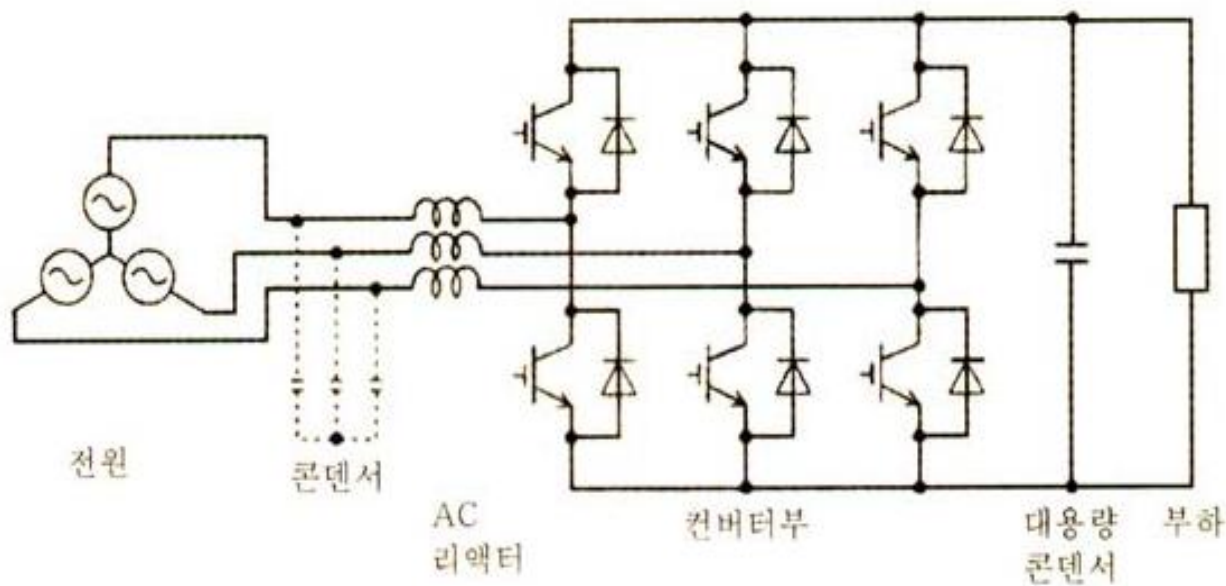
## 2) 변환기의 다펄스화

펄스 수는 정류기 등의 변환장치에 있어서 '전원전압의 1Cycle 중에 독립하여 생기는 전류의 수'로 정의하고 있으며, 실제로는 직류전압에 포함 되어있는 맥동 펄스의 수와 같다. 예를 들면 3상 브리지 접속의 펄스 수는 6이 되고, 이 펄스의 수가 커지면 교류 전류에 포함 되어있는 고조파 차수가 높게 되고, 동시에 고조파 전류의 크기도 감소된다.



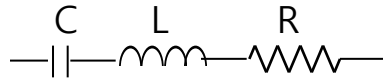
## 3) PWM 컨버터 채용

전원 고조파 전류를 발생 측에서 억제하는 방식으로 PWM컨버터가 있다. 주회로 구성은 그림과 같이 범용 인버터의 입출력을 반대로 하여 교류전원 측에 리액터를 접속하고 다이오드 정류기를 제거한 것이다. 교류전원과 AC리액터간에 그림에서 점선으로 표시한 콘덴서를 넣는 경우가 있다. 이 방식으로는 저차의 고조파를 대폭 저감시킬 수 있으며 스위칭 주파수를 6~7kHz 이상으로 하면 종합 전류왜형율을 약 5% 정도 이하로 억제할 수 있다.

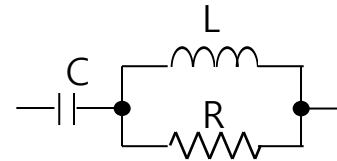


## 4) Passive Filter

L과 C를 이용한 방법으로 공진이 일어날 수 있다. 수동필터이기에 고조파 억제에 유용하며, 고조파 성분을 제거하진 못한다. 설치 환경 별로 시행 계산에 의한 설계를 할 필요가 있다. (고조파 발생량 파악이 필요하다.)



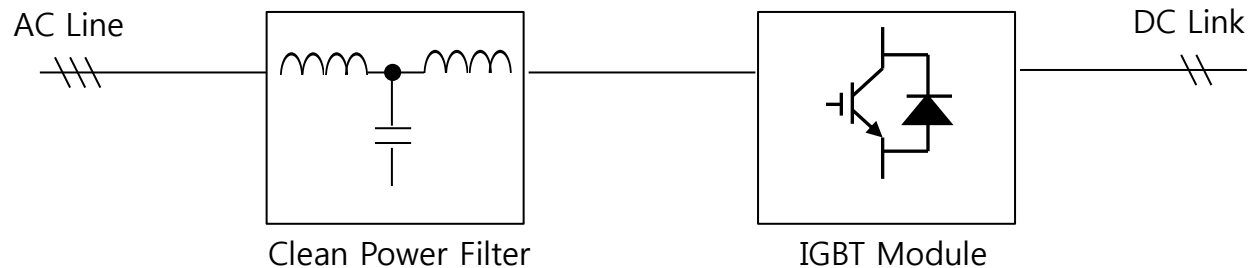
[동조필터]



[고차필터]

## 5) Active Filter

Passive Filter와 달리 부하전류를 보고 고조파 성분의 역상을 추려내서 상쇄시킬 수 있다. 깨끗한 파형을 만들어 낼 수 있다.

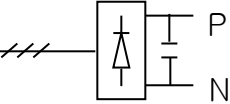

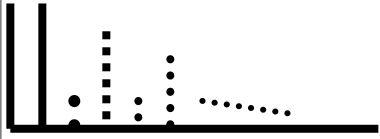
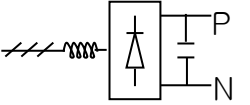

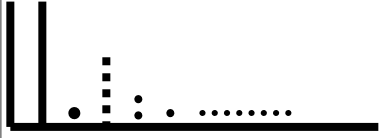
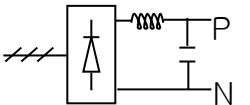


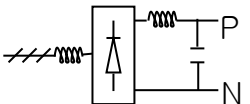


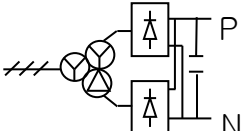


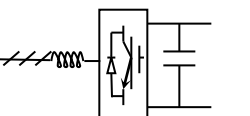
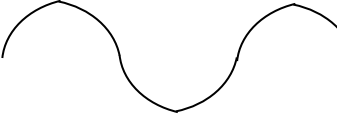



## 6) Passive Filter & Active Filter 비교

Filter	Passive Filter	Active Filter	
종류	동조 필터 / 고차수 필터	Active Power Filter	Active Front End
동작원리	L-C 공진특성 이용	고조파성분과의 반대의 위상을 보내서 서로 상쇄 시킴 (PWM-IGBT)	
억제 고조파 차수	5차, 7차 또는 11차 이상억제	모든 고조파에 대한 억제 가능	
구성	R, L, C 조합	IGBT 이용	
입력방식	-	AC입력	DC입력
회생	-	-	회생
입력전압 boost기능	-	-	가능
경제성	저가	고가	



## 7) 인버터 입력 전류 고조파 분석

회로방식	입력전류 파형	고조파 분석	고조파율	비 고
			88%	일반 인버터로 고조파 함유율이 많다.
			38%	입력단에 AC Reactor를 삽입하여 전류를 평활
			33%	인버터 내부에 DC Reactor를 삽입하여 전류 평활
			30%	AC,DC Reactor를 삽입하여 전류 평활을 극대화
			12%	인버터 입력을 6상으로 만들어 전류를 정현파로 만듦
			3%	PWM Converter를 정류부로 사용하여 전류를 제어함

### (1) 제동유닛 (Dynamic Braking Unit)

- 1) 모터에서 발생하는 회생 에너지를 제동저항 측으로 내보내는 게이트 역할.
- 2) 인버터는 회생된 에너지를 소비하여 모터의 회전을 제동한다.
- 3) DBU는 회생에너지가 일정 전압 이상 모터로부터 넘어오게 되면 동작한다.
- 4) 제품에 따라 내장형과 외장형으로 구분되어 있다.
- 5) 제동유닛의 용량은 모터의 용량에 따라 결정된다.
- 6) 인버터의 용량, 모터 용량과 회생에너지량이 정비례 관계는 아니다. 회생에너지는 기본적으로 모터의 용량과 관계가 있지만 절대적으로 비례하지 않고 부하에 따라 다르다. 모터의 용량보다 회생에너지량이 많을 수도, 적을 수도 있다.

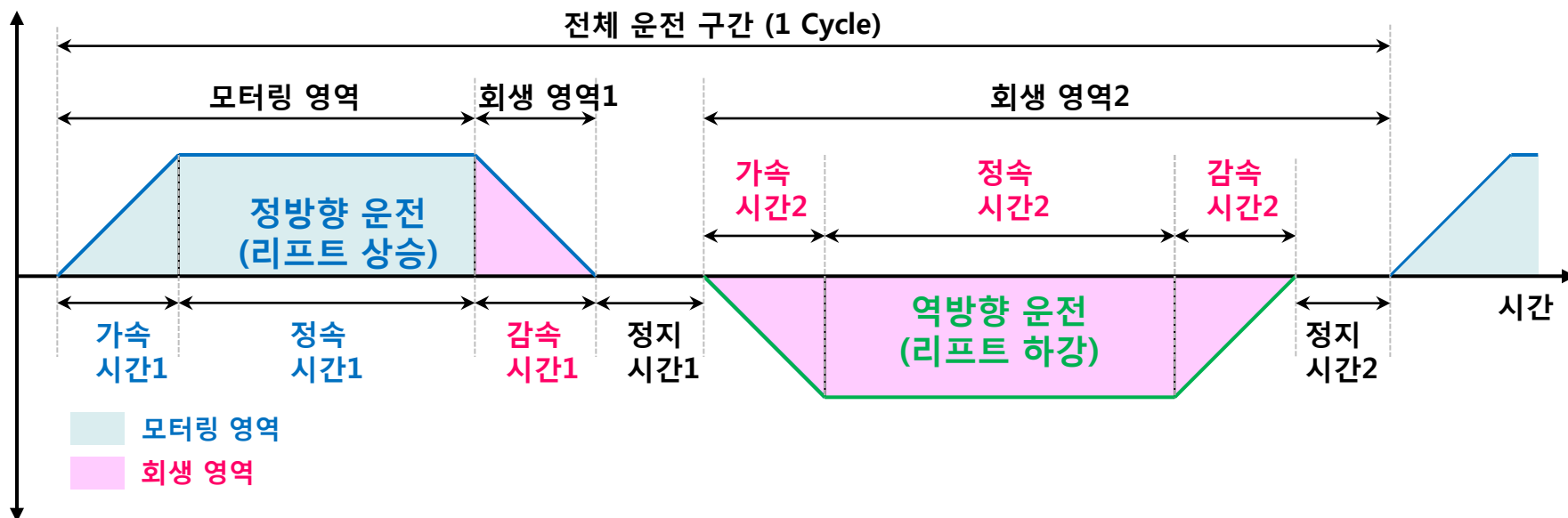
### (2) 제동저항 (Dynamic Braking Resistor)

- 1) 제동유닛을 통해 전달된 회생 에너지를 열로 소모시켜 제거하는 역할.
- 2) %ED(Enable Duty)에 따라서 제동저항의 용량이 달라진다.

## (3) %ED (Enable Duty : DB 사용율)

1) 모터가 정역방향 1사이클을 운전했을 때, 전체 운전구간 대비 회생영역의 비율 (정지구간 포함)

2) 예시-리프트 부하



$$\therefore \text{본 App.의 \%ED} = \frac{\text{감속시간1} + \text{가속시간2} + \text{정속시간2} + \text{감속시간2}}{\text{전체 운전 시간 (정지시간 포함)}} \times 100\%$$

### (4) DBR 저항값[Ω] 계산

$$P \text{ [kW]} = \text{INV[kW]} * \text{모터 효율} * \text{제동토크[\%]}$$

(회생량)

$$P \text{ [kW]} = V * I = \frac{V^2}{R}$$

(회생량)

$$\therefore R \text{ [}\Omega\text{]}_{\text{(DBR)}} = \frac{V^2 \text{ (DBU On Lv)}}{P \text{ (회생량) [kW]}}$$

- 1) 계산된 R[Ω]은 회생량을 모두 처리하기 위한 최대값
- 2) 선정된 DBR 저항값은 반드시 DBU측 IGBT전류정격이 고려된 저항값보다 높아야 한다.
- 3) DBR이 DBU보다 낮은 경우, DBU에 순간적으로 흐르는 I[A]가 DBU의 정격 I[A]를 상회하게 된다.

### (5) DBR 용량[W] 계산

$$P \text{ [W]}_{\text{(DBR)}} = P \text{ (회생량) [kW]} * \%ED * \text{안전계수}$$

- 1) 수식에서 보드시피, %ED에 따라 DBR 용량을 비례적으로 증가시켜 줘야 한다.
- 2) 냉각팬 유무, 저항 재질 등에 따라 안전계수를 낮추어 적용할 수 있다.

### (6) DBU IGBT Chopper의 정격전류 고려

$$\text{IGBT Chopper 정격전류} > \frac{V (\text{DBU On Lv})}{R (\text{선정된 DBR 저항값})}$$

DBR의 저항값[Ω] 선정시 반드시 DBU의 정격전류치를 고려해서 선정해야 한다.

### (7) iRU (Innovative Regeneration Unit)

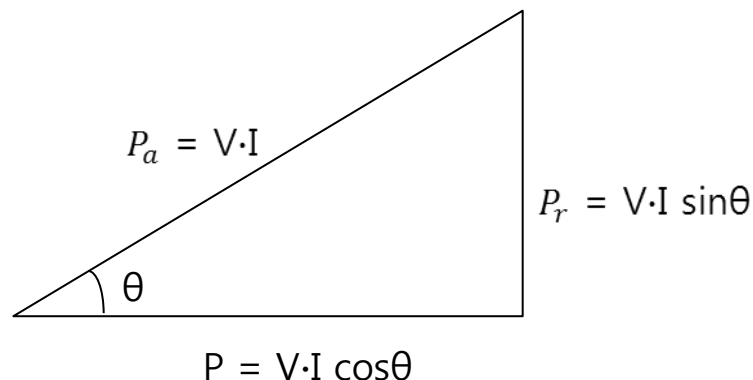
- 1) 제동 유닛, 제동 저항, 전원 회생의 3가지 역할을 하는 회생 제동 유닛을 말한다.
- 2) 기존의 제동 유닛 대비 제동시간이 길고 연속 운전이 가능하여 제동 능력이 탁월하고 모터의 회생 에너지를 열로 소비하지 않고 전원 측으로 환원하여 에너지 절감 효과가 뛰어나다.
- 3) iRU에 의한 연간 에너지 절감
  - 가) DB Unit을 사용한 경우의 소비 전력 : 14.08kW
  - 나) iRU를 사용한 경우의 소비 전력 : 6.42kW => 54% 절감
  - 다) 전기료가 55원/kW, 연간 가동시간을 5,000시간으로 가정했을 때,  
(14.08 - 6.42)kW X 5,000h X 55원/kW = 2,106,500원을 절감할 수 있다.

## (1) 역률(Power Factor)의 정의

- 1) 피상전력에 대한 유효전력의 비율. 일반적으로  $\cos\theta$ 로 표현.
- 2) 이는 전기기기에 실제로 걸리는 전압과 전류가 얼마나 유효하게 일을 하는가 하는 비율을 말함.

## (2) 전력의 구분 ( $P=V \cdot I$ )

- 1) 유효전력 (Real Power) : R에 의해 소모되는 전력
- 2) 무효전력 (Reactive Power)  
: L과 C에 의해 소모되는 것 처럼 보이는 전력
- 3) 피상전력 (Apparent Power) : 유효전력+무효전력



## (3) 역률의 개선

- 1) 교류회로에 리액턴스 성분이 있으면 전류와 전압간의 위상차가 생긴다. 인덕터가 있을 경우, 전압의 위상이 전류보다  $90^\circ$  앞선다. 커패시터가 있는 경우 전류의 위상이 전압보다  $90^\circ$  앞선다.
- 2) 무효전력이 줄어들수록  $\theta$ 값이 0에 가까워지고, 역률은 1에 가까워진다.
- 3) 역률 개선의 효과로는 전력손실의 감소, 설비용량의 효율적 운용, 전압강하의 감소, 각종기기의 수명연장, 전력계통의 안정 등이 있다.
- 4) 인버터에서는 Reactor를 장착하는 방법을 통해 역률을 개선시킬 수 있다.

## (1) EMC의 정의

### 1) EMI (Electro Magnetic Interference)

방사 또는 전도되는 전자파가 다른 기기의 기능에 장애를 주는 것 => 전자파 간섭, 전자파 장애

### 2) EMS (Electro Magnetic Susceptibility)

전자파 방사 또는 전자파 전도에 의한 영향으로부터 정상적으로 동작할 수 있는 능력

### 3) EMC (Electro Magnetic Compatibility)

전자파를 주고 받는 측의 양쪽에 적용하여 성능을 확보할 수 있는 기기의 능력.

EMI와 EMS를 모두 포함하는 포괄적인 용어.

## (2) EMC Filter

1) 주변장치에서 발생하는 Noise 및 인버터 본체에 대한 Noise는 주변기기에 대한 영향으로 유도 Noise에 의한 오작동을 일으킬 수 있다.

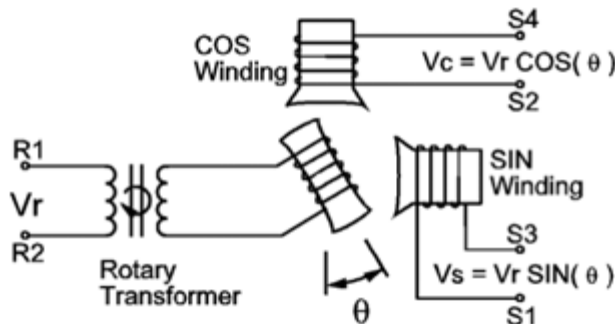
2) EMC Filter는 인버터 입력 측에 장착되며 전자파 감쇄 역할을 한다.

3) iS7의 경우 22kW까지는 EMC Filter가 내장형, 이후는 외장형이다.



## (1) Resolver

- 1) 아날로그 센서 방식의 회전속도 측정 장치
- 2) 2차측에 배치된 권선인 고정자 권선은 서로  $90^\circ$ 의 위상차이를 가지고 있는 구조.
- 3) 원리는 회전자측 권선에 교류전압을 인가하고, 고정자측 권선에 유기되는 전압을 통해 위상각을 검출한다. 회전자측 단자에 교류전압을 인가하면, 고정자측 단자에는 각각  $\cos\theta$ 와  $\sin\theta$ 에 해당하는 교류전압이 유기된다. 따라서 회전자측 두 권선 사이의 출력전압을 가지고  $\tan\theta = \sin\theta/\cos\theta$ 를 구하고 이를  $\arctan\theta$ 로 취하면 전동기 회전자의 절대각  $\theta$ 를 구할 수 있다.
- 4) 진동, 충격 등의 내환경성이 우수하며, 장거리 전송에서 우수한 성능을 보이고는 있지만, 교류전압 발생회로와 출력전압 디지털 변환회로 RDC(Resolver to Digital Converter)가 필요하므로 가격이 비싸진다.





## (1) Rotary Encoder

- 1) 회전축(Shaft)에 주어진 회전각도를 전기적인 신호(구형파 펄스)로 변환하여 출력하는 장치.  
일반적으로 사용하는 Encoder를 Rotary Encoder라고 부른다.
- 2) 기기의 가동부(Motor)의 위치나 속도를 정확히 검출하고, 그 정보를 구동부(인버터)에 Feedback 하기 위하여 사용한다.

## (2) Rotary Encoder의 종류 및 특징

- 1) Incremental형 Encoder (Speed Feedback용)
  - 가) 구조가 간단하고, 분해능이 높고 출력이 적어서 간단하게 사용하기 좋다.  
출력 펄스는 회전 위치의 절대치가 아닌  
회전한 각도에 의해 비례하는 펄스가 출력.
  - 나) Open collector형 (출력 : A, B, Z)
  - 다) line drive형 (출력: A, A', B, B', Z, Z')
    - > 인식범위가 넓고 Base가 크기에  
노이즈에 강하다.

## (1) Rotary Encoder

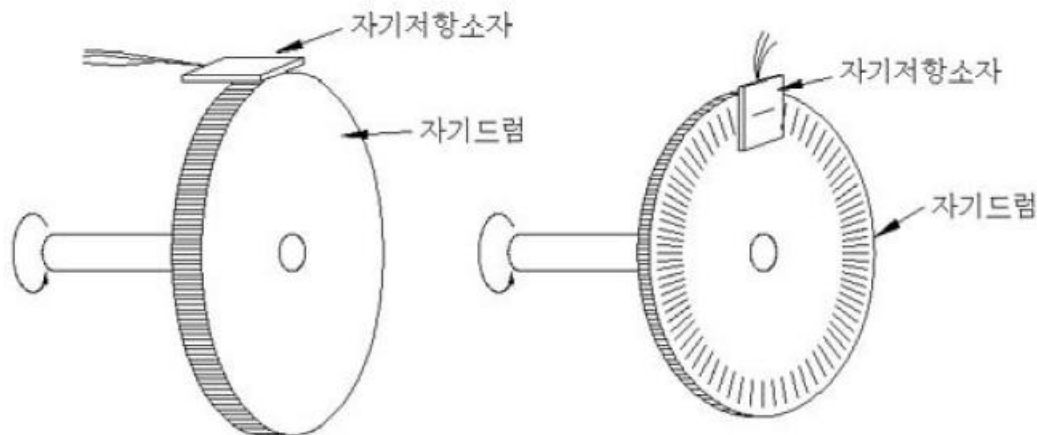
- 1) 회전축(Shaft)에 주어진 회전각도를 전기적인 신호(구형파 펄스)로 변환하여 출력하는 장치.  
일반적으로 사용하는 Encoder를 Rotary Encoder라고 부른다.
- 2) 기기의 가동부(Motor)의 위치나 속도를 정확히 검출하고, 그 정보를 구동부(인버터)에 Feedback 하기 위하여 사용한다.
- 3) 위치 및 회전속도 측정장치에는 센서에 따라 아날로그 방식과 디지털 방식이 있으며, 현재 디지털 처리 방식인 로터리 엔코더가 속도제어 장치의 주를 이룬다. 방식에 따라 자기식과 광학식 로터리 엔코더로 종류가 분류되고, LED 산업의 발달로 근래에는 광학식 로터리 엔코더를 가장 일반적으로 널리 사용하고 있다.

## (2) Rotary Encoder의 종류 및 특징

### 1) 자기식 로터리 엔코더

가) 자기식 로터리 엔코더의 기본적인 원리는 자기저항소자에 의해 사인파 형태로 출력되며, 이렇게 출력된 파형은 비교기를 거쳐 파형정형회로를 거치면 펄스 형태로 출력된다.

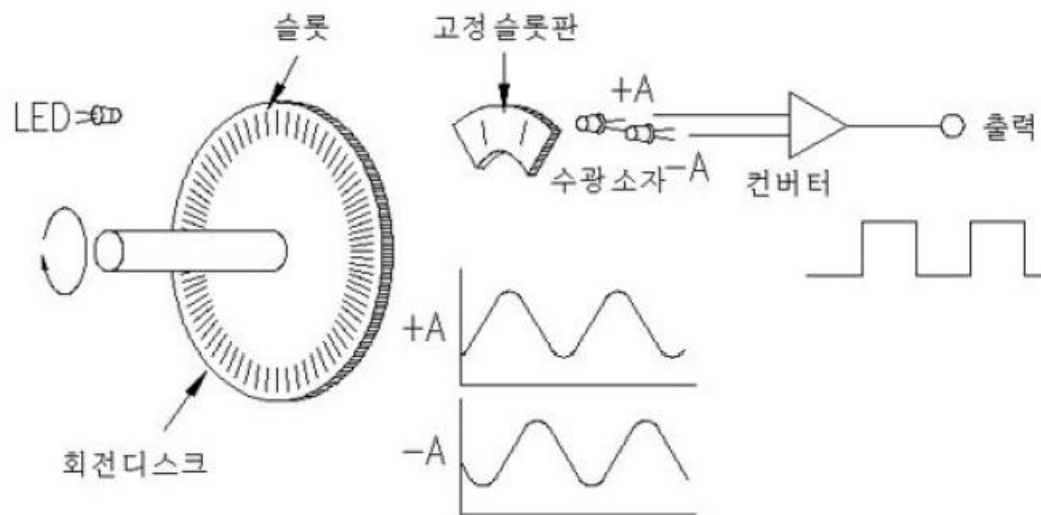
나) 특징은 먼지, 결빙 등의 영향을 잘 받지 않기 때문에 내환경성이 우수하며, 구조가 간단하다는 장점이 있다. 하지만 낮은 분해능을 가지고 있으며 자력을 응용한 엔코더이기 때문에 강자계와 자성분이 많은 장소에서 사용하는 경우에는 외부로부터 강력한 자성분이 들어오면 오동작 위험 때문에 자성분이 들어오지 못하도록 외함을 자성분이 침투하지 못하도록 보호해야 한다.



### 2) 광학식로터리 엔코더

가) 광학식 로터리 엔코더는 출력하는 값의 형태에 따라 Absolute형과 Incremental형으로 나뉜다.

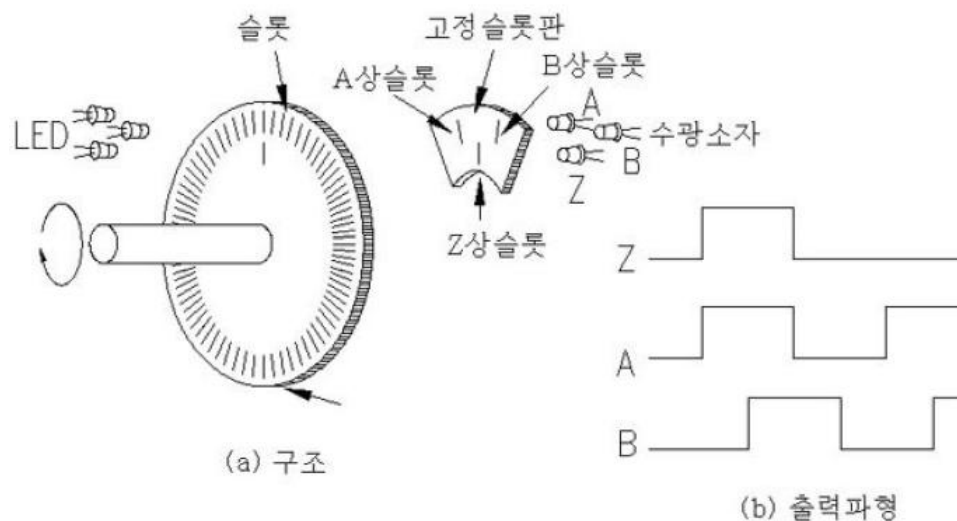
나) 광학식 로터리 엔코더의 내부구조는 1회전당 펄스 수와 동일한 슬릿을 가지고 있는 회전판과 펄스 출력을 위한 고정판, 빛을 발생시키는 발광다이오드(LED), 회전판과 고정판의 슬릿을 투과한 빛을 전기적인 신호로 변환시켜주는 포토트랜지스터로 구성되어 있다. 발광다이오드에서 발생된 빛은 회전판의 슬릿과 고정판의 슬릿을 통과하여 포토 트랜지스터를 거치면 전기 신호로 변환된다.



## (3) 광학식 Encoder의 종류 및 특징

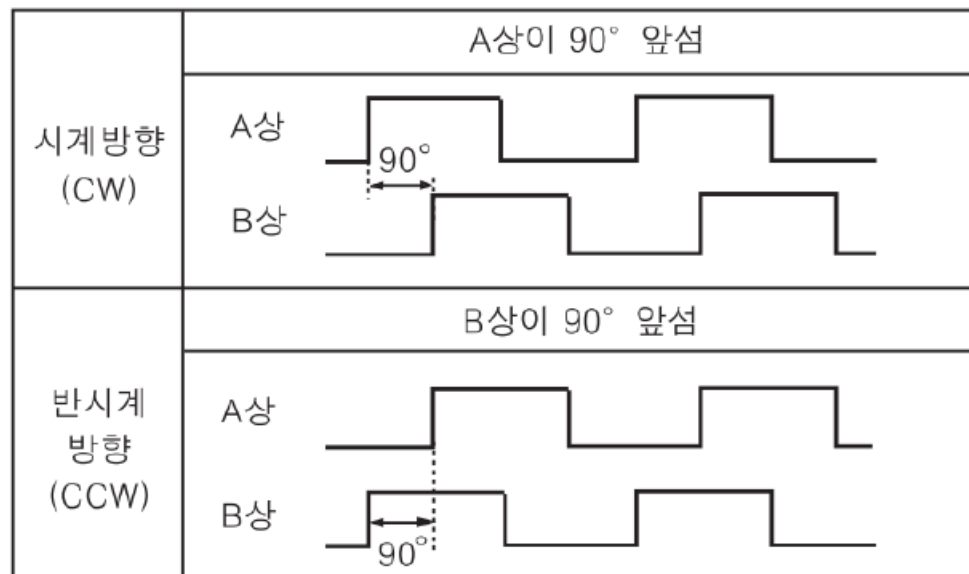
### 1) 증분형(Incremental) 엔코더

가) 증분형 엔코더는 발광다이오드로부터 발생된 빛은 회전판 슬릿을 통과한 후에 고정판의 A상, B상과 Z상에 해당하는 각각의 슬릿을 통과하여 A상, B상, Z상의 포토트랜지스터에서 검출된다. 고정판 슬릿은 A상과 B상의 90°의 위상차를 갖도록 배치되어 있으며, 전기적 신호는 90°의 위상차를 갖는 펄스 폭 50%의 구형파로 출력된다. 대부분의 경우 위치제어에도 사용할 수 있도록 1회전당 1개의 펄스를 발생하는 원점 출력상인 Z상의 출력신호를 가지고 있다.



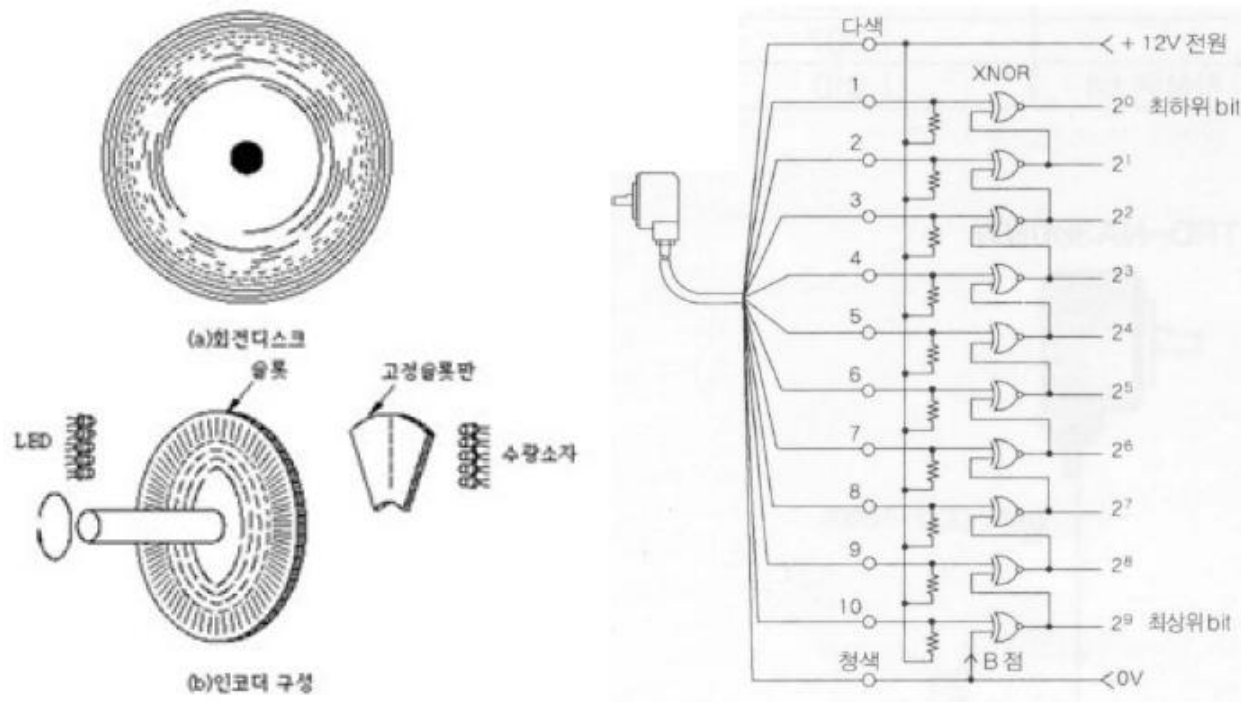
나) 증분형 엔코더는 구조가 간단하고 가격이 싸며, 높은 분해능과 우수한 특성을 가지고 있으며, 출력 선의 개수도 적어서 신호를 전달하기에 간단하다.

다) 회전방향은 시계방향(CW) 회전 시 A상의 펄스의 위상이 B상 펄스의 위상보다  $90^\circ$  앞서게 되며, 반시계 방향(CCW) 회전 시 A상 펄스의 위상이 B상 펄스의 위상보다  $90^\circ$  뒤지게 된다. 이것으로 회전방향을 판별할 수 있다. 그러나 실제적으로 전동기의 회전축에 접속하는 경우에는 전동기 회전방향과 로터리 엔코더의 회전방향이 서로 반대가 되므로 CCW가 정회전이 되고 CW가 역회전이 되는 것에 유의해야 한다.



## 2) 절대치형(Absolute) 엔코더

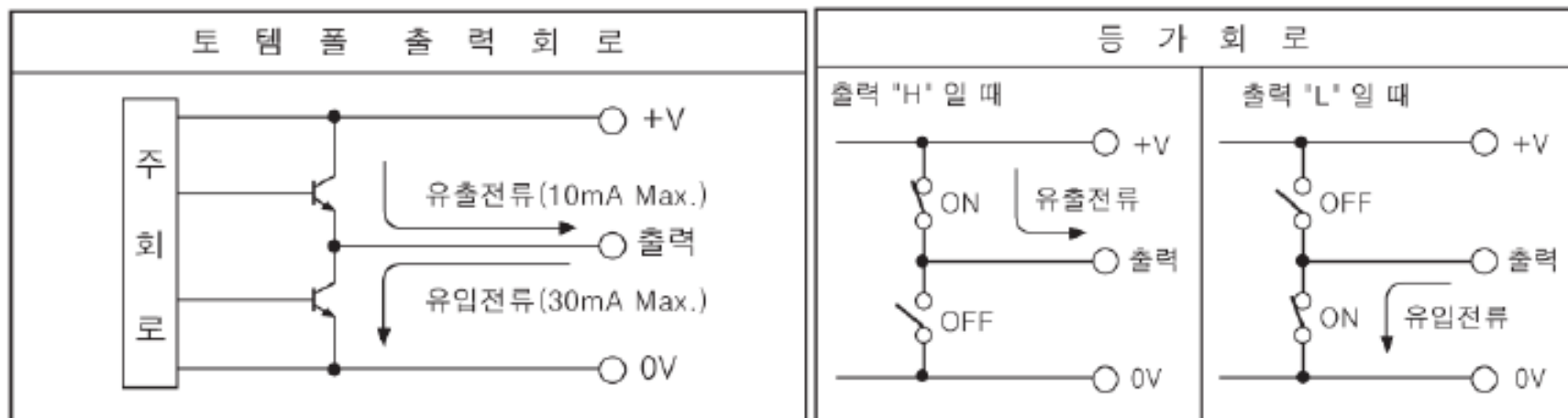
가) 절대치형 인코더는 회전판의 슬릿은 비트 수만큼 배치되어 있고, 디지털 코드(Binary Code)의 형태로 출력된다. 회전축의 절대 위치를 검출할 수 있고, 따라서 노이즈에 의한 오차 누적이 없다. 또한 전원이 차단된 후 재투입되는 경우에도 증분형 엔코더처럼 원래 위치를 잃어버리지 않고 정상적으로 올바른 현재 위치를 검출할 수 있다. 하지만 비트수가 많아지면 출력선의 개수가 많아져 구조상 복잡해지고 비싸지는 단점이 있다.



## (4) 로터리 엔코더의 출력 종류

### 1) 토템 폴(Totem Pole) 출력형

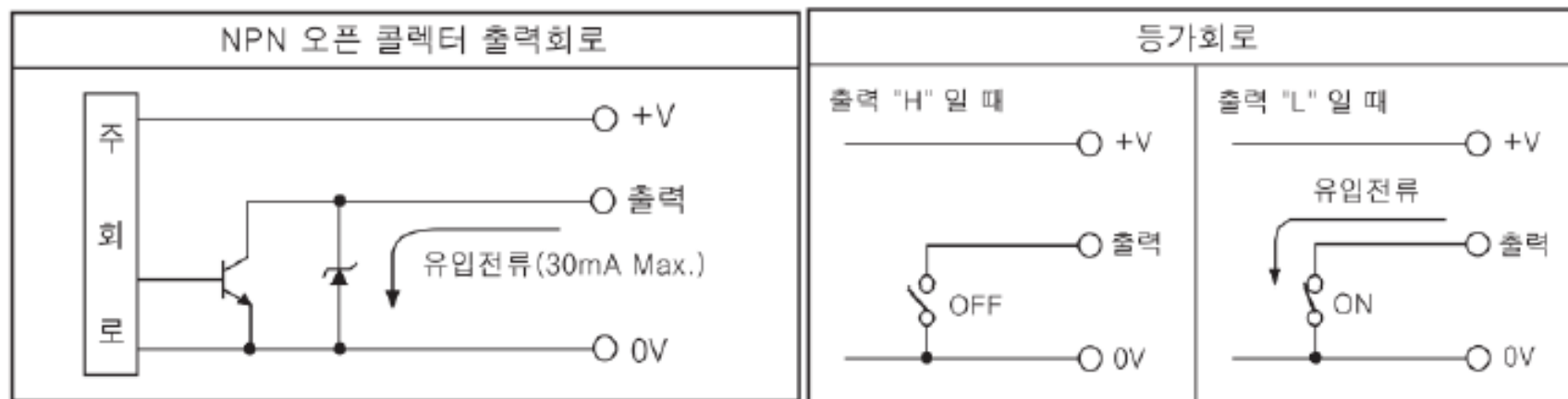
토템 폴 출력형은 전원 측(+V)과 그라운드(0V) 사이에 2개의 트랜지스터로 구성하여 출력을 발생한다. 출력신호가 H일 때 상부의 트랜지스터가 켜지고 하부의 트랜지스터는 꺼진다. 이와 반대로 L로 출력될 때 상부의 트랜지스터가 꺼지고 하부의 트랜지스터가 켜지게 된다. 이 방식은 전류가 양방향으로 흐르기 때문에 임피던스가 낮고 파형의 왜곡이 적어 라인을 길게 할 수 있다.





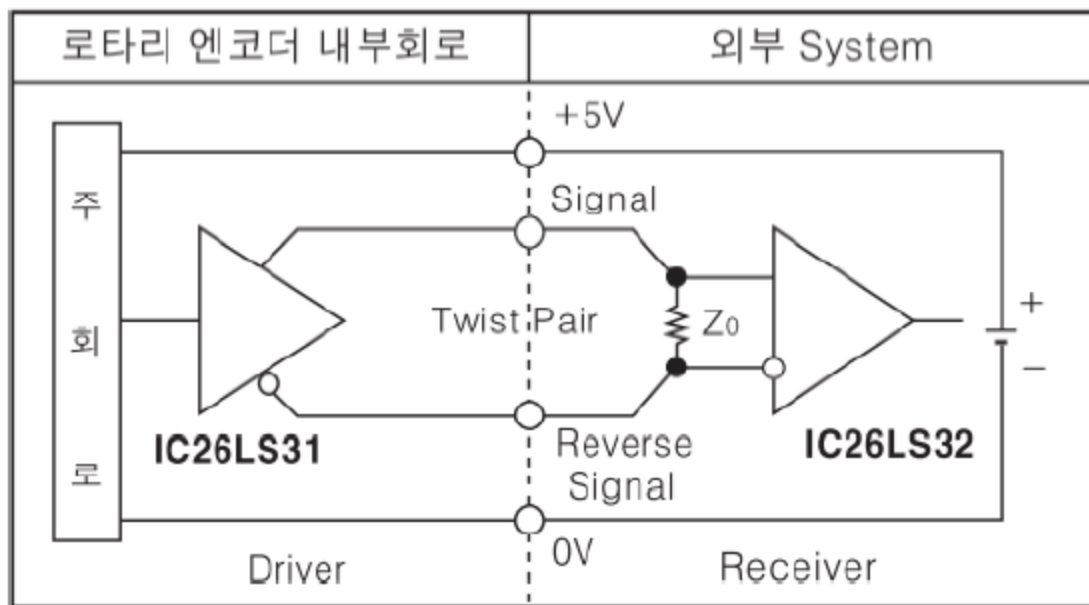
## 2) 오픈 콜렉터(Open Collector) 출력형

오픈 콜렉터 출력형은 에미터는 그라운드(0V)에 연결하고 콜렉터를 출력단자로 사용할 수 있도록 +V와 콜렉터를 Open 시켜놓은 출력형태이다. 전원전압과 제어부의 전원전압이 서로 다를 경우에 적용할 수 있다. 이 회로는 외부에서 +V와 출력사이에 풀업저항을 삽입해주어야 한다. (저항 값은 입력임피던스의 1/5 이하가 되도록 선정)



## 3) 라인 드라이버(Line Driver) 출력형

Line Driver 출력형은 주회로에서 출력되는 신호가 Line Driver전용 IC로 입력되면 비 반전 신호와 반전 신호를 출력하는 형태이다. 이 회로는 항상 2가지 형태의 출력을 발생시키기 때문에 수신부에서 차등신호를 입력 받아 출력을 내보내는 형태로 장거리 전송이 가능하며, 외부 노이즈에 강하다. 배선의 길이가 길어지면 반드시 케이블을 꼬아서 선로에서 발생할 수 있는 기전력을 상쇄시켜 노이즈 성분을 제거해 주어야 한다. 또한 별도의 line Driver전용 IC를 내장하고 있으며, RS422A에 상응하는 수신부 회로를 사용하여야 한다는 점에서 가격이 비싸진다.



## (5) EnDat Encoder

- 1) 엔코더에서는 빠르고 안정된 데이터 전송이 필수적이며, 드라이브 특정 파라미터나 보정 값과 같은 추가적 정보제공이 EnDat 인터페이스는 엔코더용 양방향 디지털 인터페이스로 엔코더에 저장된 정보를 전송 또는 업데이트하거나 새로운 정보를 저장하며, 증분형 엔코더와 절대치형 엔코더로 부터 포지션 값을 전송한다. EnDat 2.2 인터페이스는 순수 시리얼 인터페이스로 향후 유럽에서 규격화될 안전기능(Safety Function)을 충족시키도록 설계되어 있어 안전관련 분야에도 적용이 가능하다.
  
- 2) EnDat 인터페이스는 회로의 추가 없이도 폭넓게 엔코더를 모니터링하거나 진단할 수 있다. 이 진단 시스템은 에러 메세지와 경고를 생성하는 기능이 있으며(포지션 값 참조) 또한 전체 시스템의 가용성을 높이는 필수적인 구성 요소이다.