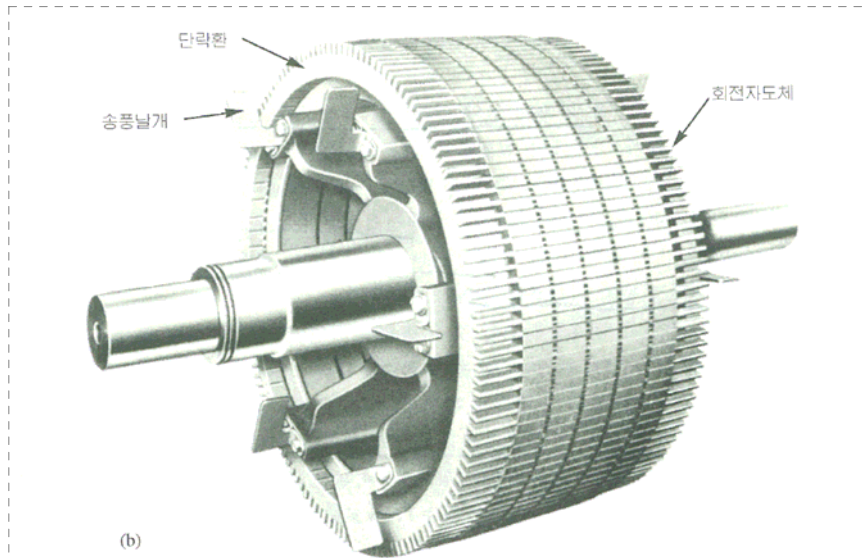


유도기(induction machines)란

- 전자기적 슬립 커플링을 포함하는 회전기기
- 유도전동기, 유도발전기, 유도주파수 변환기, 유도상변환기

유도전동기

- 용량 : 수분의 1마력부터 100,000마력 까지
- 견고하고 가격이 싸며, 유지보수가 용이
- 용도: 모든전동기 응용분야(매우 큰 토크, 매우 정밀한 속도제어를 제외한)
- 회전부위에 결선이 필요 없고, 정지부위로부터 회전부위로 전자기적으로 에너지를 전달
- Stator에서 만들어지는 회전자계가 Rotor에 교번기전력과 전류를 유기
- 유기된 회전자(Rotor) 전류가 고정자(Stator)권선의 회전자계와 상호작용에 의해
- 전동기의 토크를 발생한다.
- 토크-속도 특성은 회전자의 저항과 리액턴스 비율을 달리하여 다른 토크-속도 특성을 얻을 수 있다.



회전자

- 농형과 권선형의 두가지
- 중첩된 코일이 직렬 또는 병렬로 접속되어 권선군(phase group)을 형성하고

- 작은 농형 회전자의 경우 : 알루미늄을 주조하여 단락환(end ring)과 송풍날개
- 큰 농형 회전자의 경우 : 동막대와 동의 단락환을 용접하여 다람쥐 쳃바퀴 형태
- 철심과 도체 사이에는 절연물이 없으며, 회전자에 유기되는 전류는 도체와 단락환으로 구성되는 회로에 국한하여 흐른다.

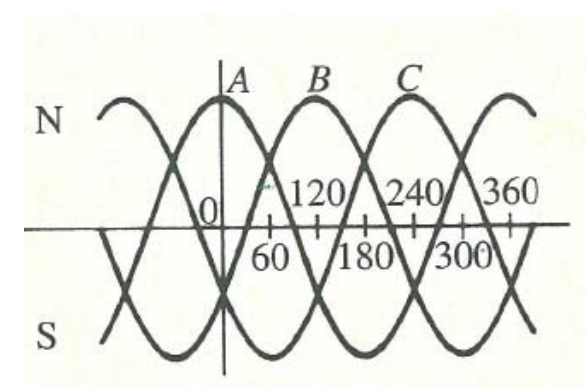
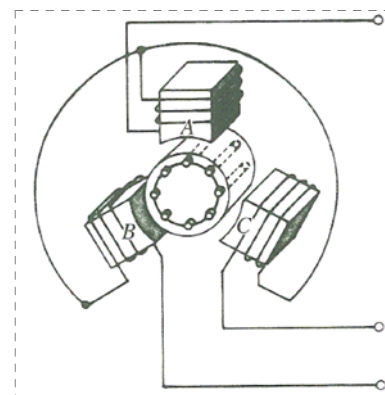
사구(skewing) :

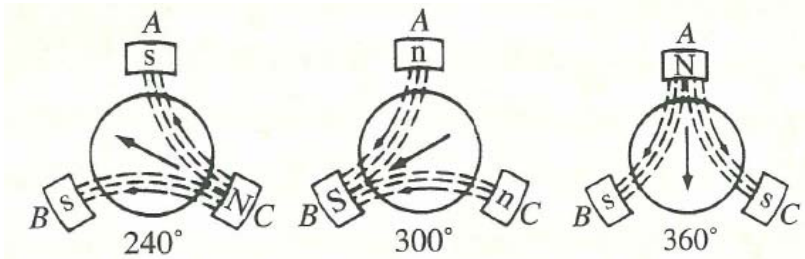
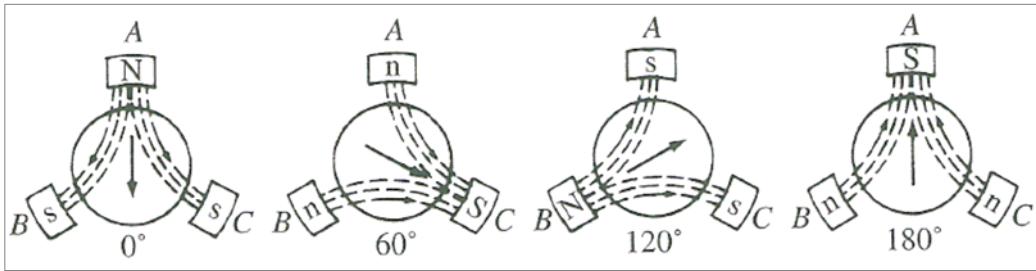
- 회전자 도체(slot)를 비스듬하게 하는 것
- 동기속도 아래의 속도에서 회전하는 크롤링(crawling)을 방지하고, 진동을 억제하는 효과가 있다.

기본적인 3상 2극 유도전동기

- 고정자는 세개의 120° 씩 떨어진 세 개의 "자심"으로 이루어진다.
- 자심에 감겨진 세 개의 코일은 와이로 결선되어 있고 3상 계통으로부터 에너지를 공급받는다.
- 회전자는 성층된 철심과 도체들로 이루어지고, 도체의 양단은 동글게 연결되어 다람쥐 쳃바퀴 모양을 이룬다. 이를 농형(squirrel-cage)회전자라 부른다.
- 고정자권선이 3상전원에 연결되면 세 코일의 전류는 서로 다른 시점에 최대치에 도달한다.
- 이들 세 전류는 서로 120°의 전기각 만큼씩 떨어져 있기 때문에 이들 각각에 의해 생성되는 자속 역시 120°씩 위상차를 갖게 된다.

회전자계의 설명





회전자속

- 고정자 자속이 서로 다른 시점에서 회전자를 관통하는 방향을 나타낸다.

- 예 ; - 0°에서 A상은 강한 N극이 되고 B상과 C상은 좀더 약한 S극이 되며
 - 60°에서 C상은 강한 S극이 되고 A상과 B상은 좀더 약한 N극이 되며
 - 120°에서 B상은 강한 N극이 되고 A상과 C상은 좀더 약한 S극이 된다.

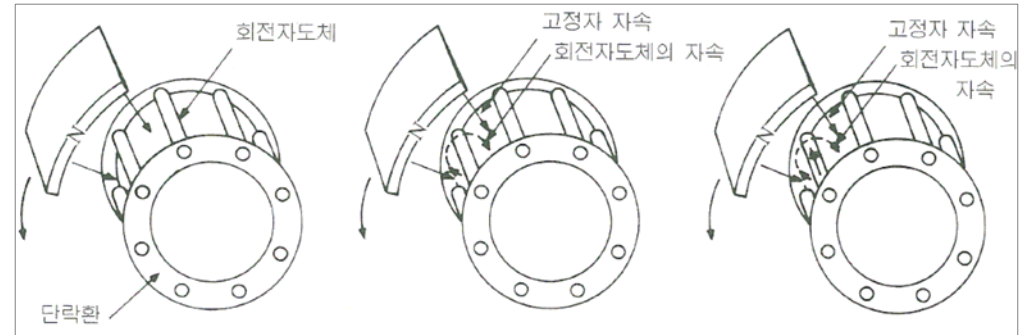
회전자 안의 큰 화살표는 매 순간의 합성자속의 방향을 나타낸다. 합성자속벡터가 가리키는 서로 다른 방향들은 자속이 반시계방향으로 회전하고 있다. 각각의 코일에 의해 발생하는 자속은 교번하는 자속이지만 세 개의 엇갈린 코일에 흐르는 순차적 위상의 전류에 의한 합성자속은 2극의 회전자속을 만들어낸다. 유도전동기의 동작이 일어나는 것은 교번자속이 아니라 회전자속이다.

고정자권선에 3상 교류에 의해 형성되는 회전자계(회전자속)

- 회전자 주위를 도는 자석에 의해 만들어지는 회전자계와 같다.
- 회전자계는 반시계방향으로 회전하면서 회전자의 도체를 "끌고 지나간다."
- 회전자계의 회전속도를 동기속도(synchronous speed)라 한다.

회전자계(회전자속)와 회전자도체의 관계

- 회전자도체에는 렌즈의 법칙에 의해 회전자속의 상대적인 움직임에 방해하는 방향으로 전압, 전류, 자속이 발생한다.
- 렌즈의 법칙을 만족하기 위하여 도체에는 회전하는 자속과 같은 방향(반시계방향)으로 돌고자하는 힘을 발생한다.
- 이를 만족하기 위하여 도체의 오른쪽에 자속집중(flux bunching)이 있어야 한다.
- 오른나사의 법칙을 만족하는 전류발생



동기속도란 : 자속이 회전하는 속도

- 전원의 주파수에 비례하고, 극수에 반비례(극수는 쌍을 이룬다.)

$$n_s = \frac{f_s}{P/2} = \frac{2 \times f_s}{P} \quad \text{r/s}$$

$$n_s = \frac{120 \times f_s}{P} \quad \text{r/min} \quad (4-1)$$

$f_s = 3$ 상 전원의 주파수
 $n_s =$ 동기속도
 $P =$ 고정자권선에 의해 만들어지는 극의 수

회전자속의 속도와 주파수와의 관계

- 전원의 주파수를 증가시키면 고정자권선의 회전자속의 속도도 증가한다.

유도전동기의 동기속도의 변화

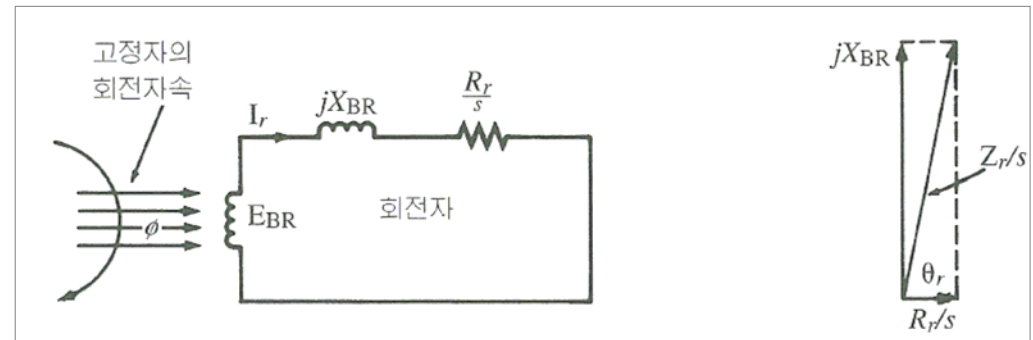
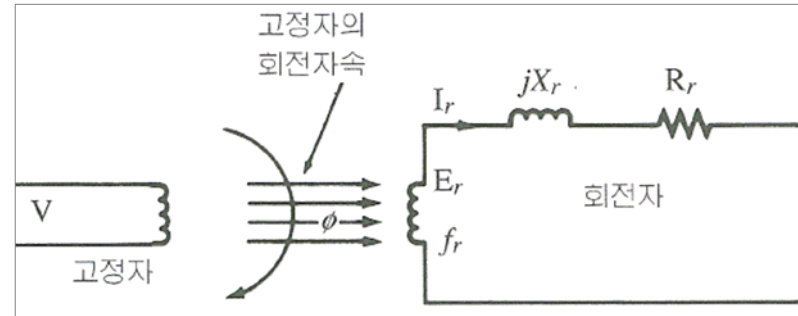
- 고정자의 극수를 바꾸거나
- 주파수를 바꾼다.(frequency convert) 또는 극수와 주파수를 함께 바꾸는 방법이 있다.

가변극 전동기(consequent-pole motor)

- 극수의 변화은 각각의 속도에 대응하는 별도의 권선을 사용하거나- 전동기에서 권선을 재결선하므로써 가능하다.
- 두개의 별도권선의 경우 : 2중속도 2권선전동기(two-speed two-winding motor)
- 세개의 별도권선의 경우 : 3중속도 3권선전동기(three-speed three-winding motor)

슬립 (slip):

- 만일 회전자를 돌지 못하게 구속하면 $n_r = 0$ 이므로 $s = 10$ 이 된다.
- 브레이크를 풀어주면 회전자는 가속하고, 슬립은 감소하며 모든 기계적부하가 제거된 상태에서는 슬립이 0에 근접하게 된다.
- 축에 부하가 없고, 풍손과 마찰손이 충분히 작다면 회전자와 회전자속의 상대속도가 매우 작아지게 되므로 회전자는 최소의 자기저항을 갖는 축을 따라 회전하게 된다.
- 이런 상태에 도달하면 회전자가 고정자의 회전자속과 동기되어 슬립이 0이 되면서 유도전동기의 토크가 발생하지 않게 되고 마치 릴럭턴스 동기전동기와 같이 동작한다.
- 축에 작은 부하를 인가하면 동기화상태에서 이탈하고 유도전동기의 동작으로 전환

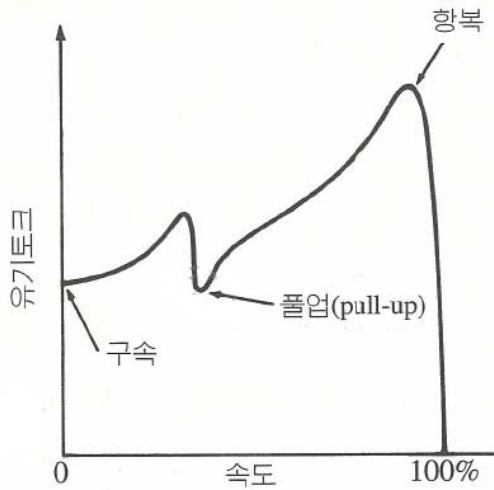


식 (4-24)에서 공극전력의 유효성분과 무효성분은 다음과 같이 된다.

$$P_{\text{gap}} = E_{BR} I_r \cos \theta_r \quad (\text{유효전력}) \quad (4-25)$$

$$Q_{\text{gap}} = E_{BR} I_r \sin \theta_r \quad (\text{무효전력}) \quad (4-26)$$

여기서 E_{BR} = 구속회전자전압
 I_r = 회전자전류의 크기
 θ_r = 회전자임피던스각
 $\cos \theta_r$ = 회전자역률



- 5차와 7차 등에 의해 나타나는 기생토크(parasitic torque) 또는 고조파토크(harmonics torque)는 전동기의 가속과정에서 나타나는 토크-속도 특성에서 바람직하지 않은 요동을 유발하기도 하고 경우에 따라서 회전자가 어떤 차동기속도(subsynchronous speed)에서 묶이게되는 크롤(crawl)현상이 나타나게 하기도 한다.

기생토크의 영향

유도전동기의 토크-속도 특성상에 현저한 함몰이 나타나는 것은 설계상의결함, 회전자의 손상,손상된 고정자를 잘못 수리한 결과 등으로 나타난다.

특정 용도에 가장 적합한 유도전동기의 선정

1. 구동부하의 동력, 토크, 속도특성
2. 운전속도는 일정한가, 가변적인가, 일정치 않은가 ?
3. 기계의 운전은 연속적, 단기적, 단속적인가 ?
4. 전동기 운전 외부조건은 ?
5. 기기 동작 주변온도는 ?
6. 특수한 절연을 필요로 하는가 ?
7. 제어의 형태는 어떠한가(수동, 자동, 정지형, 감전압)
8. 전압과 주파수의 조건은 ?

불평형전압

- 구속토크와 항복토크가 감소하며, 불평형상태에서는 전동기의 용량을 낮추어 운전하지 않으면, 심각한 과열로 수명이 단축될 가능성이 높아진다.

전전압기동의 영향

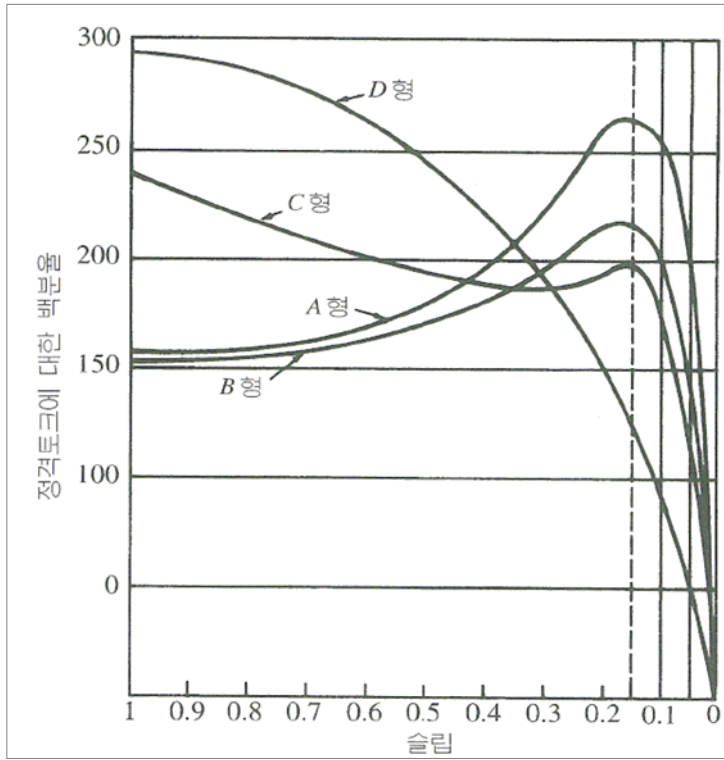
- 전전압기동 시에는 매우 큰 돌입전류가 회전자, 고정자에 열적, 기계적 스트레스를 가할 뿐 아니라 배전계통에도 큰 전압강하를 일으킨다.

돌입전류의 저감방안

전류제한 임피던스, 단권변압기, 권선의 재결선, 정지형 기동방식 등 여러가지 기동방식을 적용하여 낮추어 줄 수 있다.

형식별 전동기의 최대 토크 특성

- C형 전동기 최대토크가 구속상태($s=1$)에서 나타난다.
- D형 전동기 최대토크가 구속상태($s=1$)나 그 부근에서 나타난다.
- A, B형 전동기 최대토크가 0.15정도의 슬립에서 최대토크 발생
- E형 전동기 B형 전동기와 유사한 특성

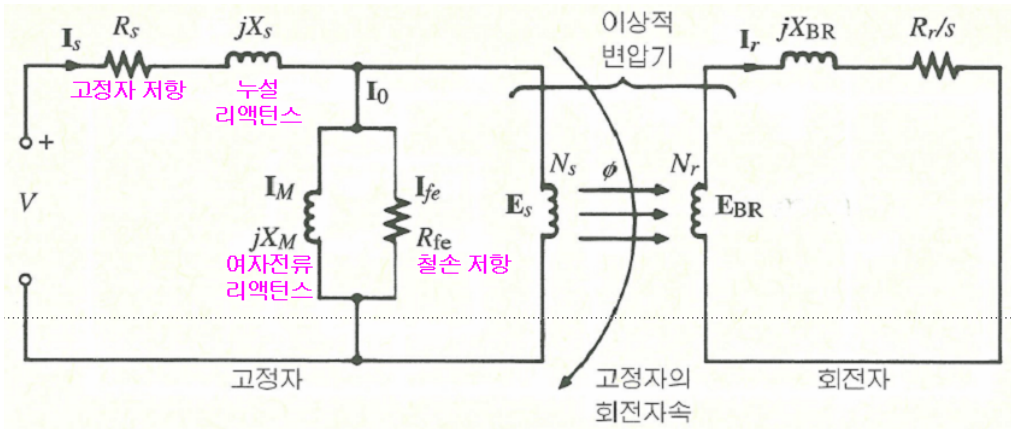
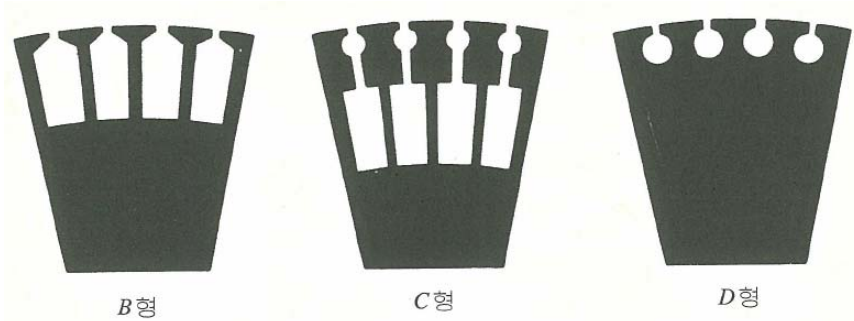


D형 회전자 : 상대적으로 큰 저항과 낮은 리액턴스 갖도록 표면에 가깝게 배치된 회전자

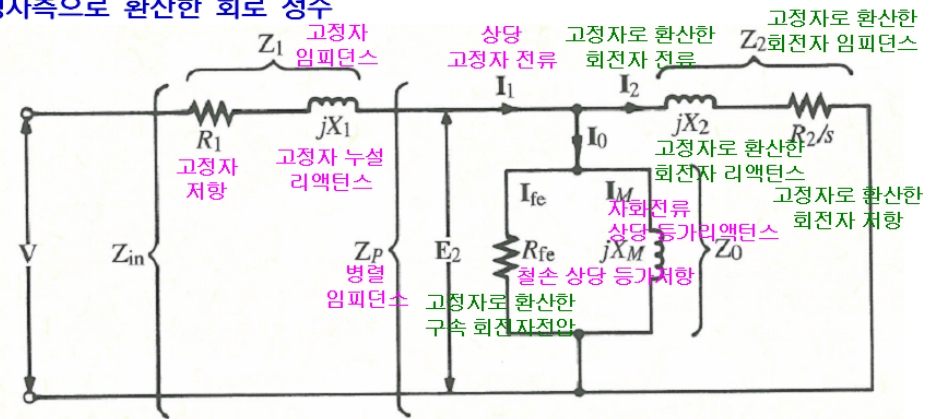
A, B형 회전자 : 낮은 저항의 회전자 도체를 철심에 보다 깊게 위치하여 작은 R_r 과 큰 X_{BR} 을 갖도록 만들어진다.

C형 회전자 : B형과 D형의 회전자의 특징을 결합한 것으로 표면쪽의 도체는 낮은 리액턴스를, 안쪽 도체는 낮은 저항과 큰 리액턴스를 갖는다.

E형 회전자 : 저손실의 강판을 얇게 성층하여 와전류손실을 최소화하고, 보다 긴 철심을 사용하여 자속밀도를 낮추고, 역률을 좋게 함으로써 정격전류를 최소화한다. 회전자와 고정자 도체의 단면적을 크게하여 I^2R 손실을 줄이고 저손실 냉각팬과 브러시를 사용하여 풍손과 마찰손을 줄이고 표류부하손을 최소화하기 위해 권선의 형상을 특수하게 설계



고정자측으로 환산한 회로 정수



전동기 사용실태

- 국내전체소비전력량의 60%
- 산업부분 소비전력량의 70%이상
- 전동기 연결부하의 50%이상 : Fan과 Pump 부하
- 공동주택에서 동력사용은 30%정도

전동기 보유현황

- 2.2kW 이하 : 51.1%
- 3.7kW - 15kW 이하 : 34.5%
- 18kW - 37kW 이하 : 8.7%
- 45kW 이상 : 5.7%
- 2.2kW 이하 : 51.1%
- 3.7kW - 15kW 이하 : 34.5%
- 18kW - 37kW 이하 : 8.7%
- 45kW 이상 : 5.7%

전동기 기동방법

- 설계기준이나 지방서의 기준이 없음
- 직입기동, 감전압기동(Y - Δ 기동, 리액타기동)
- 용량별로 일괄적으로 적용

경제적인 기동장치의 선정

- 연결부하 및 수전변압기용량 요소 검토
- 다양한 기동방법의 검토
- 기동장치비용과 공사비의 검토
- 적용가능한 기동장치의 선정

기동전류

- 구속상태에서의 돌입전류 : 단순한 R-L 직렬회로
- 슬립이 줄어들어 따라 구속회전자전류도 감소
- 2-5초 이내에 정격전류로 감소

기동계급

- NFPA 70 NEC Code(Table 430-7(b)) : kVA/HP
- KS C 4205(유도전동기의 기동계급) : kVA/kW
- F ~ H 등급 : 6.7 ~ 9.5(kVA/Kw) 일반적으로 적용

토크의 종류

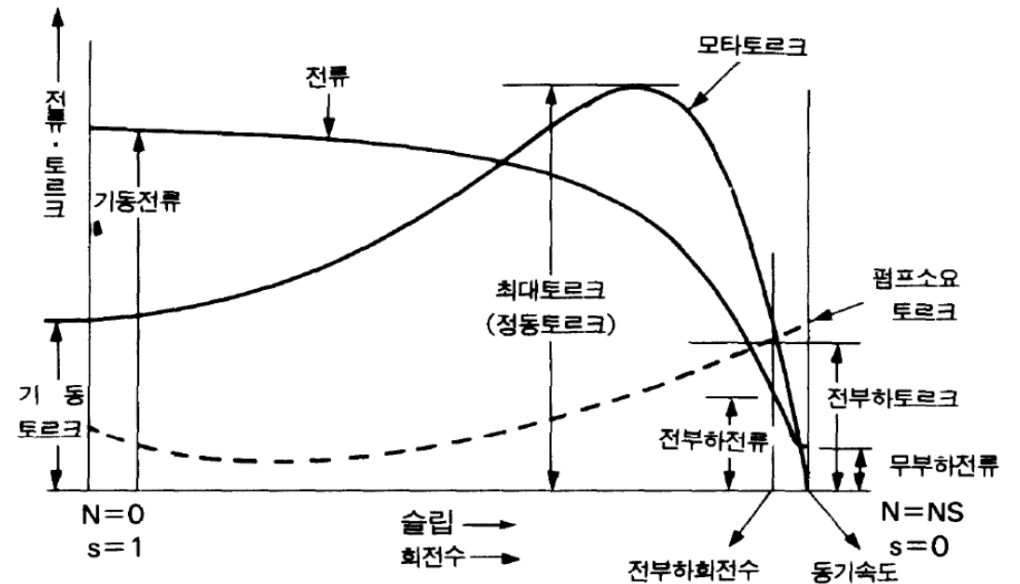
전부하 Torque (Full Load Torque) : 정격전압 인가상태의 전부하속도에서 정격부하를 인가 할 수 있는 Torque

구속 Torque(Locked Rotor or Starting Torque) : 정격전압 인가 상태에서 기동시 발생하는 Torque

최소 Torque (Pull up Torque) : 기동 후 최대 토크 도달하기 까지 사이에서의 최소 Torque

최대 Torque(Breakdown Torque) : 정격전압 인가 상태에서 전동기가 낼 수 있는 최대 Torque로써 이 이상의 Torque 를 요구하는 부하가 인가될 경우에 전동기는 정지하게 된다.

가속 Torque (Acceleration Torque) : 전동기를 가속을 위한 부하 Torque 와 전동기 출력 Torque와의 차이



회전자표시 코드문자

코드문자	구속회전자를 가진 마력당 KVA(KVA/HP)	코드문자	구속회전자를 가진 마력당 KVA(KVA/HP)
A	0.0 - 3.15	K	8.0 - 9.0
B	3.15 - 3.55	L	9.0 - 10.0
C	3.55 - 4.0	M	10.0 - 11.2
D	4.0 - 4.5	N	11.2 - 12.5
E	4.5 - 5.0	P	12.5 - 14.0
F	5.0 - 5.6	R	14.0 - 16.0
G	5.6 - 6.3	S	16.0 - 18.0
H	6.3 - 7.1	T	18.0 - 20.0
J	7.1 - 8.0	U	20.0 - 22.4
		V	22.4 and Up

NFPA 70 NEC Code(1999) table 430-7(b) Locked-Rotor Indicating Code Letter

기동계급	1kW당의 입력 [kVA]	기동계급	1kW당의 입력 [kVA]
A	4.2 미만	K	9.5 이상 - 12.1 미만
B	4.2 이상 - 4.8 미만	L	12.1 이상 - 13.4 미만
C	4.8 이상 - 5.4 미만	M	13.4 이상 - 15.0 미만
D	5.4 이상 - 6.0 미만	N	15.0 이상 - 16.8 미만
E	6.0 이상 - 6.7 미만	P	16.8 이상 - 18.8 미만
F	6.7 이상 - 7.5 미만	R	18.8 이상 - 21.5 미만
G	7.5 이상 - 8.4 미만	S	21.5 이상 - 24.1 미만
H	8.4 이상 - 9.5 미만	T	24.1 이상 - 26.8 미만
J	9.5 이상 - 10.7 미만	U	26.8 이상 - 30.0 미만
		V	30.0 이상

한국공업규격 KS C 4205(유도전동기의 기동계급)

과부하허용률(SF)

- 과부하 허용률 = 안전여유(Service Margine)
- 표준형전동기 : SF 1.0
- 고효율전동기 : SF 1.15

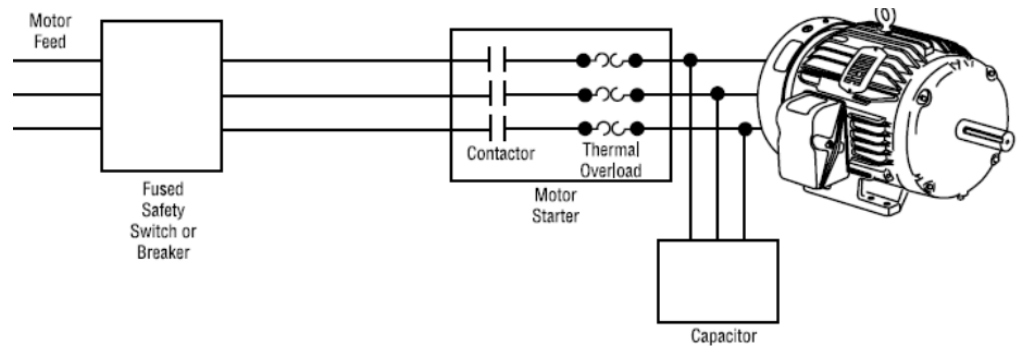
감전압 기동방법

- Y-Δ (Star-Delta)기동
- 직렬리액타 기동
- 기동보상기 (단권변압기) 기동

- 1차저항 (직렬임피던스) 기동
- 부분권선(Part-Winding)기동
- 정지형(Soft Starter)기동(VVCF 기동방식)

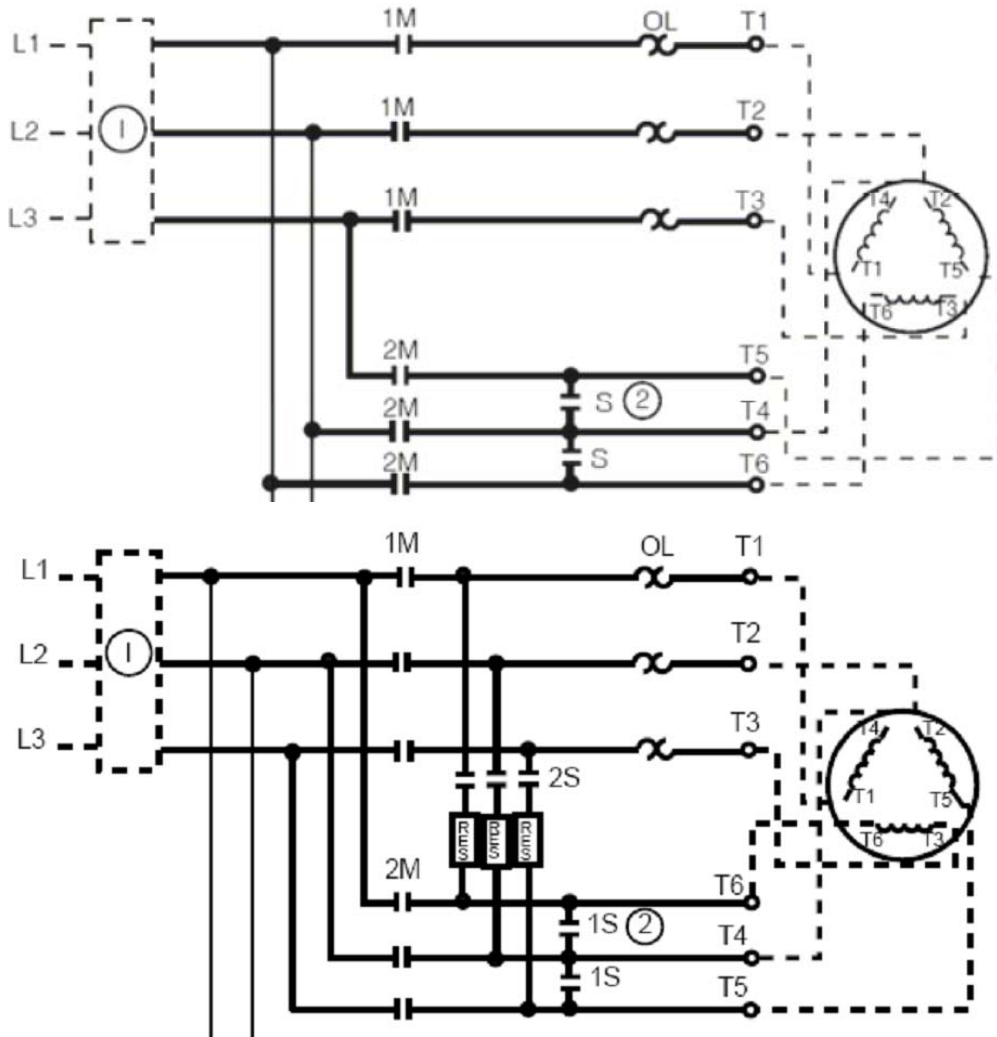
직입기동(전전압기동법)

- 대체로 소용량인 경우
- 대용량 : 모선용량이 충분하고 큰 기동회전력을 요할 경우
- 정격전류의 4.5~8배의 기동전류
- 100% 이상의 기동토크가 부하에 인가 : 기계적충격
- 일반적인 경우 : 직입기동



Y-Δ (Star-Delta)기동

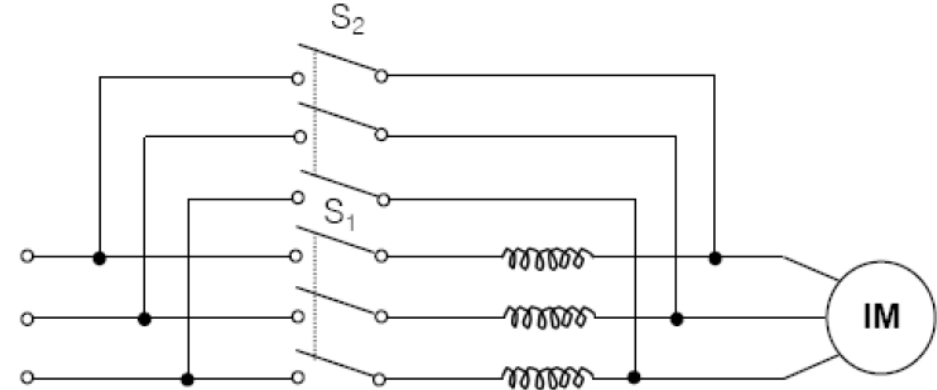
- 기동전류 : 전전압기동전류의 33.3%
- 기동토크 : 33.3%
- 가속성 : 토오크증가 적다.



Closed Transition.	Contactor.			
	1S.	2S.	1M.	2M.
Start.	*	-	*	-
Transition 1.	*	*	*	-
Transition 2.	-	*	*	-
Run.	-	-	*	*

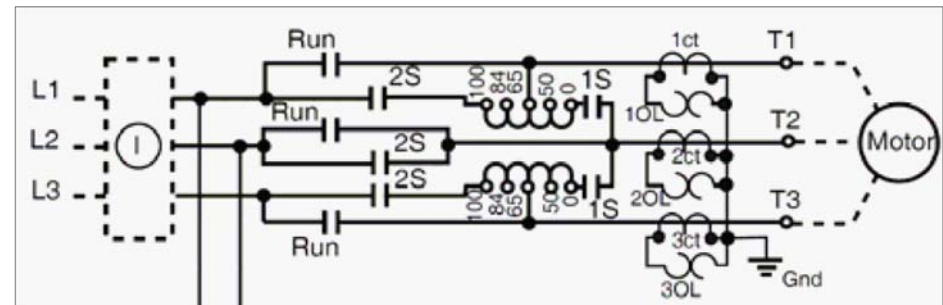
직렬리액타기동

- 기동전류 : 전전압기동전류의 50-65-80%
- 기동토크 : 25-42-64%(탭 변환)
- 가속성 : 토오크증가 매우크다.



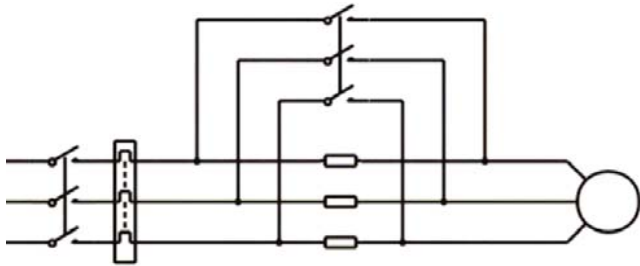
기동보상기(단권변압기)기동

- 기동전류 : 전전압기동전류의 50-65-80%
- 기동토크 : 25-42-64%(탭 변환)
- 가속성 : 토오크증가 매우크다. 원할한가속



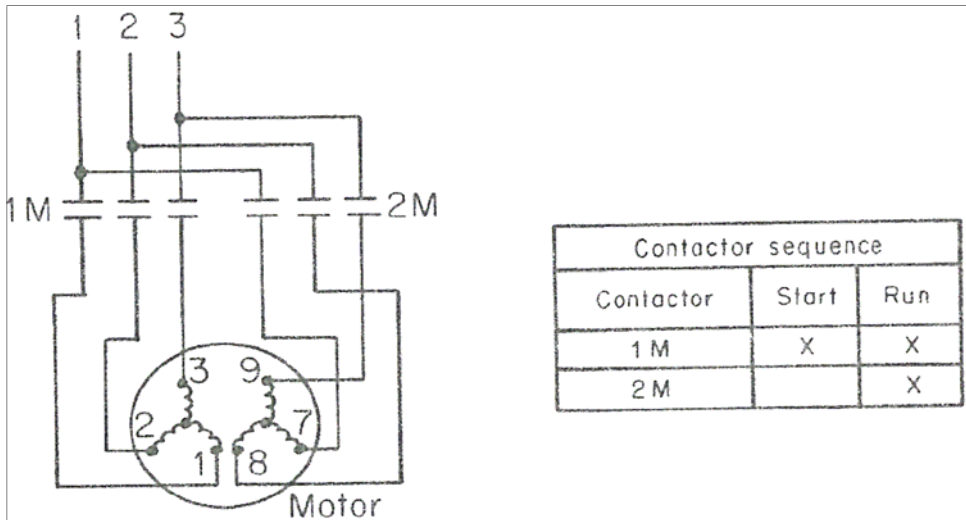
1차저항(직렬 임피던스)기동

- 기동전류 : 전전압기동전류의 50-65-80%
- 기동토크 : 50-65-80%(탭 변환)
- 가속성 : 토오크증가 매우크다. 원할한가속



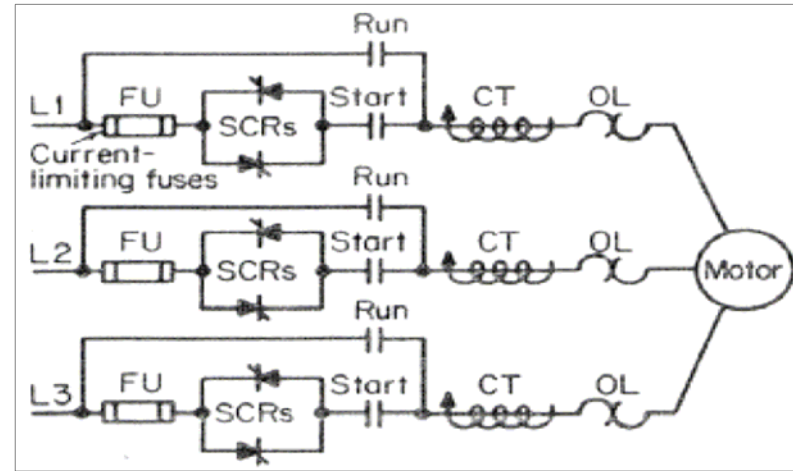
부분권선(Part Winding)기동

- 기동전류 : 전전압기동전류의 80%
- 기동토크 확보가 용이
- 냉동기 등에 제한적으로 이용



정지형(Soft Starter)기동

- 기동전류 : 임의설정 가능
- 기동토크 확보가 용이
- 다양한 기동·정지 방법의 적용



정지형(Soft Starter)

- 유도전동기는 기동시에 전 부하의 400% TORQUE와 600~700%의 기동전류가 발생하게 된다.
- 400%의 기동 Torque는 전동기와 부착되어있는 기어나 벨트 베어링 등에 마모나 파손의 원인이 되어 유지 보수비용을 증가시키게 된다.
- 600%이상의 높은 기동전류는 Magnetic Contactor의 주 접점에 Arc(아크)를 발생시켜 접점 손상에 의한 결상등의 원인이되고 전압강하를 발생시켜 시설용량을 증대시키는 원인이 된다.
- 무접점 SOFT STARTER를 적용하여 기동 Torque에 알맞는 저전압부터 정 Torque가 발생하는 전 전압까지 서서히 Analog하게 전동기에 입력하여 저전류로 MOTOR를 기동.
- "과부하(OVER LOAD)시 Trip 기능", "결상(PHASE LOSS)시 Trip 기능", "상간 단락시 Trip 기능", "SCR 과열시 Trip기능" 등의 기능을 내장하여 완벽히 MOTOR를 보호.

개요 :

- 무접점 SCR소자를 이용하여 기동에 알맞는 저전압부터 전전압까지 서서히 증가시키면서 저전류로 기동
- 어떤 부하에도 무관하게 적용 가능함

특징 :

- 기동시간, 토오크의 크기를 부하에 따라 조절이 가능하여 저전류 기동이 가능하다.

* 모터 보호기능 * 과부하시 Trip * 결상시 Trip * 2차측 단락시 Trip

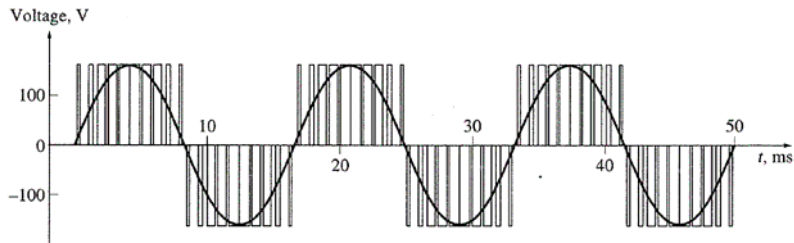
단점 :

- 기동시에 약간의 SCR스위칭 노이즈가 발생함.

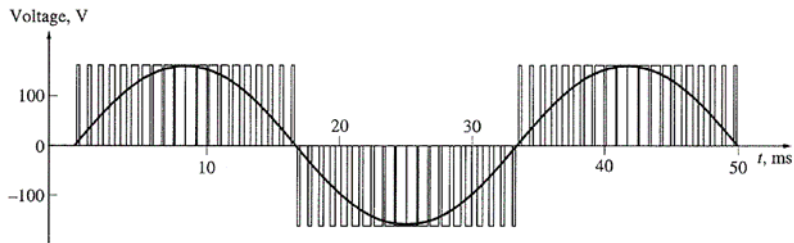
설치효과 :

- 유지 및 보수 비용 절감,
- 저 전류 기동,
- 기동시 전압강하 방지,
- 설비용량 최소화,
- Panel 면수 최소화,
- 설비의 변경이 용이

PWM 파형 가변주파수 제어

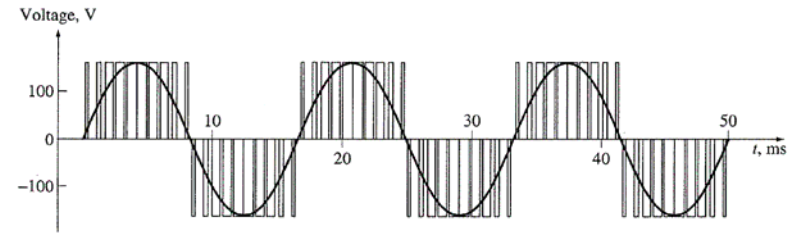


(a)

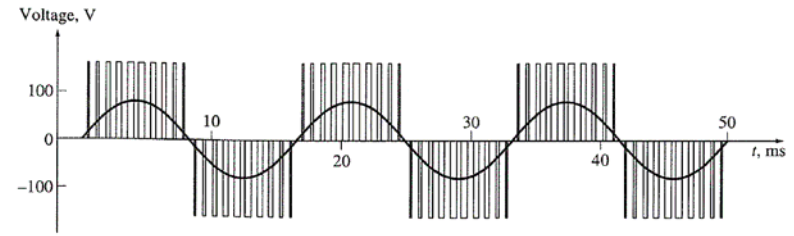


(b)

PWM 파형 가변전압 제어

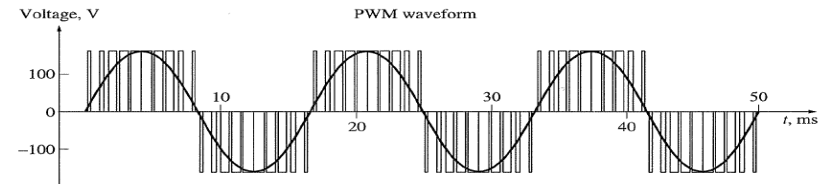


(a)

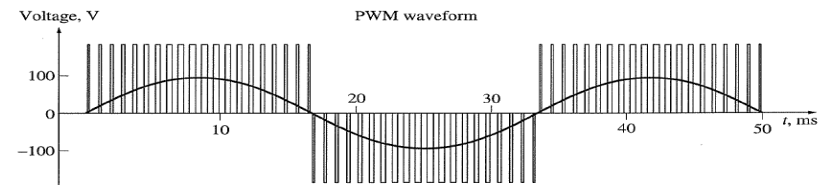


(b)

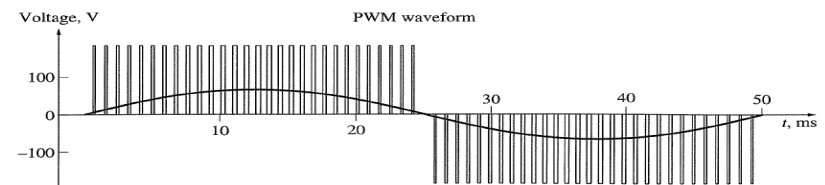
PWM 파형 가변주파수, 가변전압 제어



(a)



(b)



(c)

일본(건축전기 설비기준)

- 220V : 11kw 이상 (기동장치 적용)
- 380V : 30kw 이상 (기동장치 적용)

신전기설비사전

- 변압기용량이 전동기출력(kw) 10배 이상 (전전압기동)
- 10배 미만일 경우 검토가 필요
- 3배 이하일 경우 전전압기동 불가

전력사용시설물 설비 및 설계

- 감전압기동 : 220V(11kW이상), 400V(37kW이상)
- 냉각탑 팬 등의 경우는 별도 고려

대한주택공사

- 전전압기동 : 11kW미만
- 11kW이상 ~ 55kW미만 : Y-Δ 기동, 55kW이상은 리액타

건설교통부 표준시방서

- 정격출력(kW)이 수전용변압기용량(kVA)의 1/10을 초과하는 전동기는 기동장치를 적용

전기공사협회 전기공사시방서

- 정격출력(kW)이 수전용변압기용량(kVA)의 1/10을 초과하는 전동기는 기동장치를 적용

NEC, IEC, 기타

- 각 제여기가 전동기를 기동·정지하고 전동기의 회전자구속전류를 차단할 수 있어야 한다.

기동방법 선정 시 고려사항

- 기동 시의 전압강하(허용전압강하)
- 부하의 소요토크에 대한 전동기의 토크
- 전동기 및 기동기의 시간내량

표준형 전동기

- 낮은 부하율 운전시 : 효율과 역률이 낮다
- 기동계급 : 7.4 ~ 10.4(kVA/kW) (F - K)

고효율 전동기

- 효율의 극대화(우수한 절전효과)
- 낮은 온도 상승, 권선수명연장(SF : 1.15)
- 경제성(초기비용증가, 운전비용 절감)
- 저소음화의 실현
- 다양한 기종의 적용가능
- 설치 장려금의 지급

적용 가능 부하

- 가동율이 높은 부하
- 정속운전이 필요한 부하
- 전원용량의 여유가 적은 경우
- 국내에서는 일반적으로 몰드형변압기를 적용
- % 임피던스가 6% 이하이므로 전동기 기동환산용량보다 변압기용량이 큰 경우에는 직입기동이 가능

기동장치 및 공사비의 경제성 분석

구성

- 기동장치공사비용 = 기동장치가격 + 배관·배선비용
- 배관·배선비용 = 배관공사비 + 배선공사비 + 접속공사비
- 3선식배선공사 = 전전압기동, 리액타기동, 정지형기동
- 6선식배선공사 = Y - Δ 기동방식
- 배관·배선비용은 기동장치와 전동기의 거리에 따라 증가

분석결과

- 기동장치비용을 고려하면 전전압기동방식이 유리하나 공사비용을 고려하면 25m를 넘는 경우에는 전체비용 증가
- 공사비용을 고려하면 다양한 기동방식을 적용 가능
- 용량이 커질수록, 거리가 길어질수록 3선식이 유리함

전동기용량 선정

- 전동기 부하율 향상 : 적정용량산정
- 전동기 용량선정 시 고효율전동기 적용
- 고효율전동기의 SF를 적용하여 용량최적화

기동방법

- 변압기 용량을 고려하여 30kW미만은 직입기동
- 다양한 기동방법의 적용(정지형기동장치, 리액터기동장치)
- 공사비용을 고려한 기동장치의 선정(3선식/6선식)

VVVF 제어방식

- 에너지절감
- 다양한 기동방식의 적용 및 자동제어의 적용