

동기전동기의 설계 및 기동특성 연구

김 방광, 박 정훈
/현대중전기(주)

Synchronous motor design and study
of the starting characteristic

Bang-kwang, Kim / Jung-hoon, Park
Hyundai Electrical Engineering Co., LTD

1. 개요

동기전동기는 유도전동기에 비하여 효율이 높고 전압 변화에 대한 최대 TORQUE의 변화가 적으며 역률을 1혹은 진상역률로 할수 있으므로 역률 개선의 목적으로도 이용이 가능한 이점이 있다. 특히 유도전동기의 경우는 회전수가 낮을수록 역률이 낮아지므로 역률을 좋게하기 위해서 고정자 회전자 사이의 공극을 뿔수 있는한 최소로 하는데 이것이 기계적 고장의 원인이 되는 경우가 많은데 비하여 동기전동기는 공극이 크며 공극 설계의 제한이 적어 주로 20극 이상의 저속도 대용량 부하에 많이 사용되고 있다. 그러나 동기전동기는 기동 TORQUE가 적고 동기 속도에 투입되기 위한 인입 TORQUE(PULL IN TORQUE)와 기동TORQUE의 관계 및 속도조정을 할수 없는점 직류전원을 공급하기 위한 값비싼 제작비 등의 단점이 있어 유도전동기와 동기전동기의 명확한 경제성 비교는 어려우나 실례로 용량 및 극수에 대한 사용 구분용 그림 1과 같이 나타내었다. 또한 동기전동기의 회전력은 삼상교류에 의한 전기자권선의 회전자계와 회전자계자권선의 직류여지에 의하여 형성된 자극 상호간에 동기속도에서의 흡입 및 반발력에 의한것으로 회전자가 정지된 상태에서는 평균 회전력은 0이다. 따라서 어떠한 방법으로도 회전자 동기속도에 이르지 않고는 회전력을 낼수 없으므로 기동특성은 동기전동기 설계시 가장

유의해야 할 부분이며 그외의 전기회로, 자기회로 및 전기자 반작용 설계등은 동기발전기와 차이가 없으므로 본장에서는 동기전동기의 기동특성을 중심으로 기술하고자 한다.

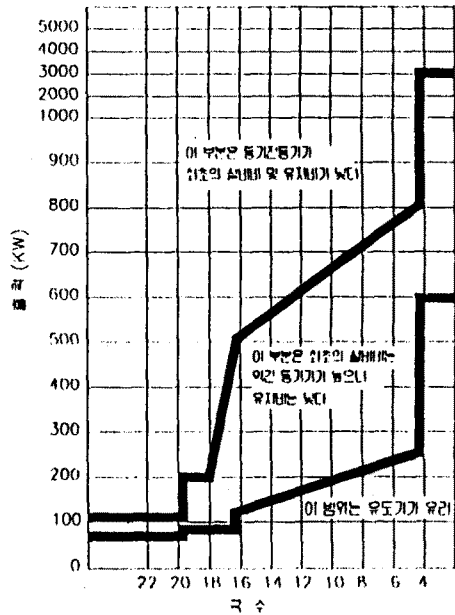
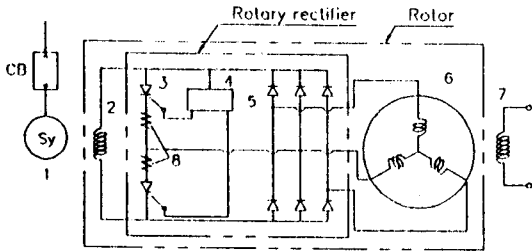


그림 1 동기전동기와 유도전동기의 사용구분

2. 기본 구조 소개

그림 2 Basic Connection Diagram of Synchronous Motor



- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Synchronous motor stator winding | 5. Silicon diodes |
| 2. Synchronous motor field winding | 6. Exciter armature winding |
| 3. Thyristors | 7. Exciter field winding |
| 4. Trigger pulse module | 8. Discharge resistance |

그림 2에서는 BRUSH-LESS 동기전동기의 기본 구조를 보여주고 있는데 구조적으로 동기발전기와 별다른 차이점은 없으나 동기전동기는 기동시 고정자 회전자계로 인하여 매우 높은 기전력이 계자권선에 유기되어 계자권선 및 DIODE의 절연을 위협하므로 이를 적절히 보호 할수있도록 방전저항, TRIGGER PULSE MODULE, THYRISTOR 등이 ROTARY RECTIFIER UNIT내에 조립되어있다. AC EXCITER : AC EXCITER는 회전전자자형 동기발전기로 다상전기자 권선을 가지며 여기서 발생된 AC 출력은 ROTARY RECTIFIER UNIT의 DIODE를 통하여 D.C로 변환되어 MOTOR 계자권선의 여자전류로 사용된다.

ROTARY RECTIFIER : ROTARY RECTIFIER는 SILICON DIODE, R-C BLOCK, THYRISTOR ASSEMBLY TRIGGER PULSE MODULE로 구성되며 SILICON DIODE는 EXCITER 전기자권선의 A.C 출력을 3상 전파정류로 D.C로 변환하며 R.C BLOCK은 SILICON DIODE와 병렬로 연결되며 정류시 발생될수 있는 SURGE VOLTAGE에 의한 DIODE의 손상을 방지하는 역할을한다. 또한 THYRISTOR는 동기 MOTOR 기동시 유기되는 계자회로의 높은 기전력에 의해 DIODE와 계자권선을 손상하지 않도록 동작되고 기동후 계자권선에 DIODE에서 정류된 D.C 전류를 흘리면 회전자가 동기속도에 인입되는 구조로 되어 있으며 기동후 SYNCHRONOUS RUNNING까지의 과정을 아래 그림 3과 같이 LOGIC DIAGRAM으로 표현하였다.

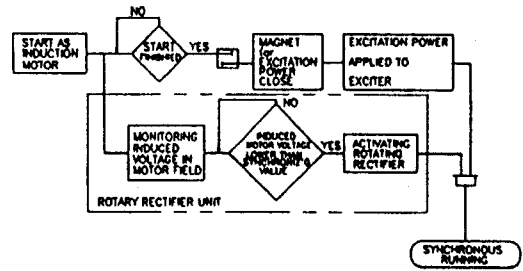


그림 3 SYNCHRONOUS RUNNING LOGIC DIAGRAM

3. 기동 특성

1) TORQUE 특성분석

동기전동기의 기동 TORQUE 특성을 보면 그림 4에서와 같이 전 TORQUE는 기동권선에 의한 TORQUE와 계자권선에 의한 TORQUE 및 철심면에 흐르는 와전류에 의한 TORQUE로 구성되며 대부분이 기동권선에 의한것으로 그림 5에서는 기동 권선 제질에 따른 TORQUE 변화를 나타내고 있다 계자권선에 의한 TORQUE는 SLIP이 0.5 이상의 회전속도에서 정 TORQUE가 되지만 0.5 이하의 속도에서는 부 TORQUE로 작용하고 있어 전체 TORQUE를 감소시키고 있으며 동기속도 부근에서는 다시 정 TORQUE로 작용하므로 동기인입시 유효하나 이 TORQUE는 기동시 고전압에 의한 계자권선 보호를 목적으로 계자권선에 연결된 방전저항(계자권선저항의 3-10배)에 대부분 영향을 받기 때문에 동기 인입의 문제가 있는 경우에는 방전저항의 선정에 주의가 필요하다. 와전류에 의한 TORQUE는 기동권선에 의한 TORQUE의 10% 정도에 불과하며 회전속도에 따른 TORQUE의 변화는 거의없다. 그림 6은 방전저항 값과 전동기TORQUE 변화의 일례를 나타내고 있다.

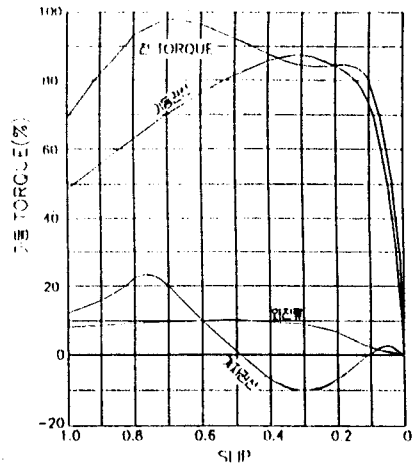


그림 4 동기전동기 기동 TORQUE 곡선

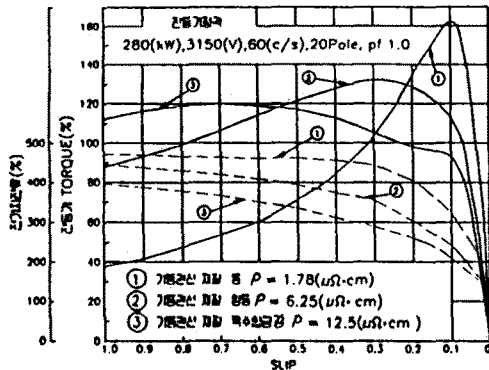


그림 5 1회전선 리액턴스 TORQUE 특성곡선 (1회전선 리액턴스)

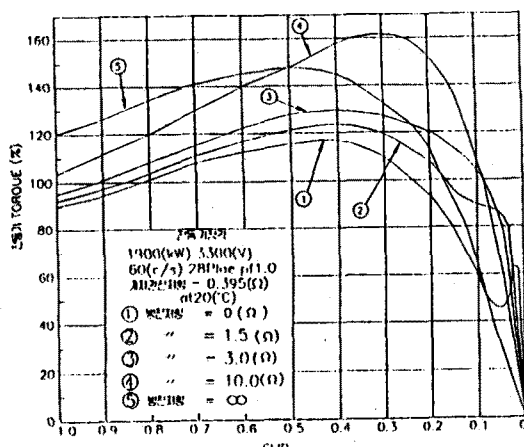


그림 6 변압기 방식의 TORQUE 특성곡선

2) 기동 TORQUE 및 PULL IN TORQUE 계산
 동기전동기와 동기발전기의 설계상의 차이점은 없으나 동기전동기에 있어서는 능형권선이 회전자철심에 배열되어 최소기동 KVA로서 소요되는 기동 및 인입 TORQUE를 만들게끔 설계되는데 이때 요구되는 두가지 TORQUE 특성을 동시에 만족시키기 위한 능형권선의 설계가 중요하며 그림 7의 동기전동기 동가회로표 이용한 기동 TORQUE 및 PULL IN TORQUE 계산방법은 다음과 같다.

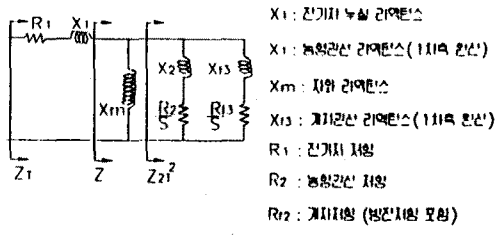


그림 7 동기전동기 동가회로표

SLIP S=1일때 (T : 기동 TORQUE I_2 : 기동전류)
 SLIP S=0.05일때 (T : PULL IN TORQUE I_2 : PULL IN 전류)

$$Z_{f3} = R_{f3} + j X_{f3} \quad I_1 = \frac{1}{Z_T}$$

$$Z_2 = R_2 + j X_2 \quad I_2 = I_1 \frac{Z}{Z_{2T}}$$

$$Z_{2T} = Z_{f3} + Z_2 \quad T = I_2^2 R_{r2} \times \frac{1}{\text{정격 P.F.}}$$

$$Z = Z_{2T} + j X_m$$

여기서
 Z_{f3} : 계자권선의 IMPEDENCE
 Z_2 : 능형권선의 IMPEDENCE
 Z_1 : 전기자권선의 IMPEDENCE

3) 기동방식

가) 전 전압기동

동기전동기를 그림 8과 같이 직접선로에 투입하여 시동하는 방식으로 전동기가 소용량의 경우 혹은 전원용량이 큰경우에 채용되며 기동전류는 정격의 250-300%정도로 보통 1000kw 미만에 사용한다.

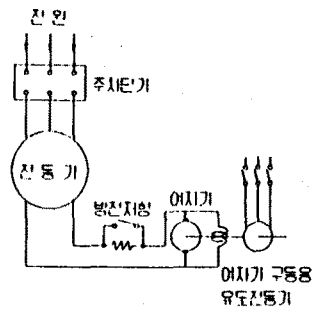


그림 8 전 전압기동

나) REACTOR 기동

저 전압기동의 일종으로 그림 9와 같이 REACTOR를 통하여 고정자권선에 선로전압을 공급하는 방식이며 전동기 단자전압은 전동기가 가속되어 기동전류가 감소됨에 따라 상승하도록 되어있으나 이방식은 주로 기동 TORQUE가 그다지 필요치않은 압축기 등에 사용된다.

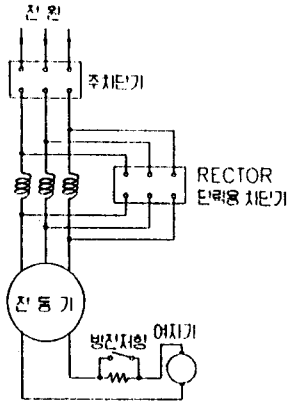


그림 9 REACTOR 기동

다) 보상기 기동

REACTOR 기동과 마찬가지로 저 전압기동의 일종으로 단권변압기에 의해 정격전압의 50-80% 정도의 저 전압을 전동기에 가하여 기동하는 방식이다. 같은 크기의 기동 TORQUE를 발생시키는데 필요한 기동 KVA는 REACTOR 기동보다 작다.

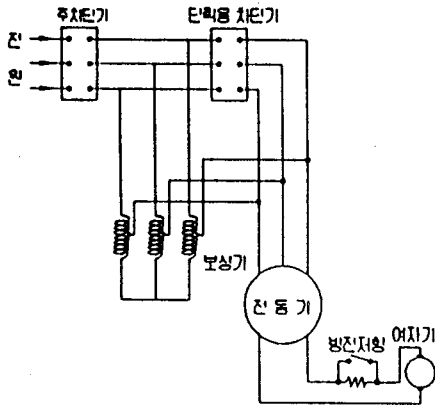


그림 10 보상기 기동

라) 분할 권선기동

전기자권선을 2개 이상의 병렬회로로 나누어 각각의 회로에 차단기를 설치한후 기동 시에는 병렬회로의 일부만 사용하여 기동 KVA를 제한하고 최후에는 전 병렬회로를 사용하여 기동시키는 방식.

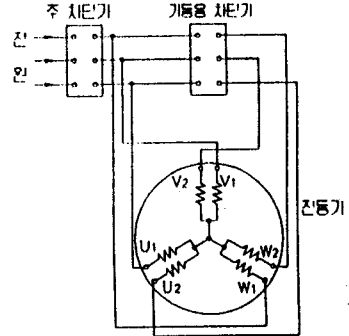


그림 11 분할권선기동

4. 결론

동기전동기의 TORQUE 특성 그림에서 본 바와 같이 기동 TORQUE를 크게하기 위해서는 고저항의 기동권선이 요구되는 반면 PULL IN TORQUE는 저항이 작아야 하므로 이 두가지를 동시에 만족하기 위한 적정 농형권선 및 방전저항 설계가 동기전동기 설계의 핵심이라고 할수있다. 당사에서는 전주제지(주)의 PULP GRINDER용 3500KW 동기전동기를 제작하는 과정에서 고저항 이면서 적정 기계적 강도를 유지하는 기동권선 소재개발등의 어려움이 있었으나 자체기술로서 성공적으로 제작납품하여 현재 정상운전 중에 있다. 참고로 동기전동기의 각소요 TORQUE 규정은 표 1과 같다. (NEMA 규정)

표 1

Application	Typical Torque requirement in %		
	Starting	Pull-in	Pull-out
Ball Mill for Rock products	140	110	175
Ball Mill for Ore	150	110	175
Banbury Mixers	125	125	250
Blowers, Centrifugal			
- in let or discharge valve closed	30	40-80	150
- in let or discharge valve open	30	100	150
Compressors, Centrifugal			
- in let or discharge valve closed	30	40-80	150
- in let or discharge valve open	30	100	150
Compressors, Reciprocating air and gas	30	25	150
Grinder, Magazine Pulp	50	40	150
Jordans	50	50-100	150
Plasticators	125	125	250
Pumps, Centrifugal-discharge valve closed	5-40	60-80	150
- discharge valve open	5-40	100	150
Rolling Mills-Plate mills	40	30	300-400
- Hot strip mills	50	40	250
- Brass copper Roughing mills	50	40	250
Rubber Mills, Individual Drive	125	125	250
Saws, Trimmer	40	40	250
Vacuum Pumps, Hytor			
- with unloader	40	30	150
- without unloader	60	100	150
Wood Hogs	60	50	250