

## 전기설비의 전기에너지 절약 운영기술 ⑨

자료제공 : 기술연구팀 ☎ 02)875-6524

### 4. 시퀀스 제어와 대수제어에 의한 에너지 절약

#### 가. 시퀀스 제어

간헐부하에서 동력이 필요 없는 데도 전동기를 무부하로 운전하고 있는 설비는 시퀀스 제어를 하여 전동기의 공회전을 방지하면 에너지를 절약할 수 있다.

무부하상태로 운전되고 있는 전동기를 정지시키려면 우선 필요없게 되었다는 것을 검출하는 센서가 필요한데 최근 전자공학의 발전에 힘입어 극히 미소한 검출도 할 수 있게 되었으므로 이런 것으로 시퀀스 회로를 구성하여 미소한 조정 내지 최적운전을 하면 된다. 나아가서 스케줄 운전을 할 필요가 있을 때는 타이머를 이용한 제어를 생각하면 된다.

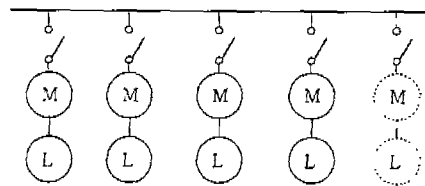
또 많은 전동기의 운전 정지를 제어하기 위하여 순서기(sequencer)를 이용하는데 이것은 종전의 릴레이회로에 의한 시퀀스제어와 달리 프로그램에 의하여 운전의 지령 감시 인터록 기능까지 갖추고 있는 것으로 시퀀스 운전의 변경 등에 쉽게 적응할 수 있는 것이다.

#### 나. 대수제어

동일한 목적으로 여러 대의 기계를 사용하는 경우에 부하용량에 맞추어서 운전대수를 제어하면 에너지를 절약할 수 있다. 이 때 분할 대수는 부하의 종류와 부하변동 패턴에 따라서 정하지만 초기투자비를 가장 짧은 기간 내에 회수하려면 어떻게 하는 것이 좋은지 생

각할 필요가 있다.

예를 들어 컴프레서 설비의 대수제어를 생각하면 그림 3.5.12와 같이 공장을 완전가동하고 있을 때는 5대가 필요하지만 낮에 쉬는 시간이나 잔업시간에는 1~2대만 운전해도 된다고 하자. 이런 경우에 불필요한 기계를 정지하거나 또는 공기사용량에 따라서 필요한 기계만 운전할 수 있도록 대수제어를 한다. 최근 검출기 기술이 발달하였으므로 고감도의 검출기를 이용하여 시퀀스회로를 구성하면 최적운전을 할 수 있다.



M: 전동기

L: 동일 목적의 부하

그림 3.5.12 대수 제어방식

### 5. 직류전동기의 에너지절약 운전

직류전동기는 원래 변속도 용도에 대하여 우수한 제어성을 보유하고 있기 때문에 그런 내용의 에너지 절약 효과는 기대할 수 없다. 그러나 그 특성에 맞도록 운전을 개선한다든지 또는 전원과 부속설비 등 직류 전동기를

제어하기 위하여 필요한 설비를 대상으로 그것들의 개선을 통한 에너지 절약 효과는 기대할 수 있다고 본다.

가. 직류전동기의 운전개선

(1) 경부하에 대한 운전개선

그림 3.5.13과 같이 직류전동기는 정격부하 부근에서 좋은 효율로 운전할 수 있다. 그러나 부하의 특성상 어쩔 수 없이 경부하로 운전하게 되는 경우도 있을 것이므로 장시간 경부하운전이 예상되는 경우는 다음과 같은 대책을 세워 시행하면 에너지 절약 효과가 있을 것이다.

- (가) 2대를 탠덤시스템(tandem system)으로 운전하고 있는 경우는 1대를 분리하고 운전한다.
- (나) 타령통풍 냉각방식의 전동기이면 계자의 온도상승에 주의하여 풍량을 알맞게 줄인다.
- (다) 브러쉬의 수를 조정하여 다소나마 브러시 마찰손실을 감소한다(보통 브러시의 전류밀도가 6~7 A/cm<sup>2</sup> 정도 되게 조정한다).

(2) 속도변화에 대한 운전개선

- (가) 자주 변속해야 하는 용도는 가감속시의 손실이 무시할 수 없을 정도로 클 수도 있다. 그러므로 정상운전시의 손실과 비교하여 가감속시의 손실이 크다고 판단된다면 단시간내에 가감속 운전(예를 들면 계자의 자화를 강화하여 가감속 토크를 증대)하여 손실이 경감되도록 적극 대응한다.
- (나) 정속도 운전 혹은 자주 변속하지 않는 용도는 정격속도로 운전하는 것이 가장 좋고 그림 3.5.14에서 보는 바와 같이 전압제어 범위내에서 저속으로 운전하면 효율이 심하게 저하되므로 이런 운전은 피하는 것이 좋다. 특히 출력이 회전속도의 3배쯤에 비례하는 부하(송풍기 등)에 대해서는 주의하여야 한다.

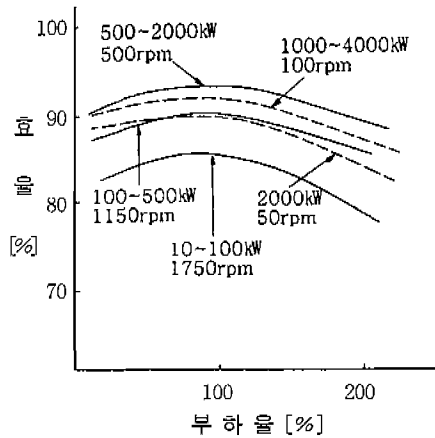


그림 3.5.13 직류전동기의 부하율과 효율

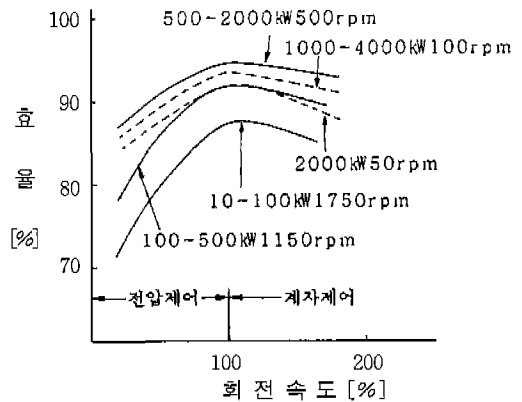


그림 3.5.14 직류전동기의 회전속도와 효율

나. 직류전동기 설비의 개선

(1) 전원방식과 효율

직류전원을 얻기 위한 방법은 사이리스터 전원방식과 전동발전기 방식(MG방식)이 있고 이들 양자의 종합 효율은 그림 3.5.15와 같이 나타낼 수 있다.

사이리스터 전원방식의 효율은 부속 변압기까지 포함하여 95~97%에 이르고 MG전원방식의 76~90%와 비교하면 대단히 높다.

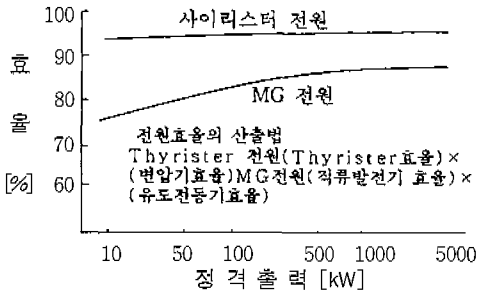


그림 3.5.15 사이리스터 전원과 MG전원의 종합효율

### (2) 전원설비의 개선

앞 (1)에서 설명한 것과 같이 기설 MG 전원방식을 채택하고 있는 전동기설비 일체를 사이리스터 전원설비로 개선하면 에너지 절약 효과가 대단히 크다.

그것은 전원 효율이 높을 뿐만 아니라 직류전동기 측에서 보더라도 필요한 제어 기기, 예를 들면 저항손이 큰 계자저항기와 기동저항기 및 속도 제어저항기를 생략할 수 있기 때문이다.

그러나 사이리스터 전원방식은 교류 급전계통에서 받아들여지게 된다. 또 직류전동기 자체도 맥동전류의 영향을 받게 된다. 그러므로 이런 문제점들에 대한 보완책을 마련할 필요가 있다.

### (3) 고효율전동기로 교체

단순히 전동기만 고효율전동기로 교체하는 것은 거기서 얻을 수 있는 에너지절약 효과 보다 설비 투자액이 훨씬 많기 때문에 시행되는 일이 거의 없고 전원설비를 사이리스터 전원설비로 개선하는 것과 아울러 전동기도 교체한다든지 혹은 낮은 전동기의 보수 운전비 등을 감안하여 시행여부를 결정하면 된다. 전동기는 손실이 적은 강판을 사용하고 동손도 경감하여 보통 전동기보다 약 0.5~1.0%정도 효율이 향상된다고 한다.

그러나 설비투자액이 상승한다는 것, 또

는 기설 전동기의 설치대 치수가 맞지 않는 등 여러 가지 부수적인 제약이 있을 것이므로 사전에 다각적으로 검토할 필요가 있다.

### (4) 설비의 이용

MG전원설비를 사이리스터 전원설비로 갱신하고 절거한 설비의 일부를 다른 용도에 활용하면 거기서 얻는 절약효과도 무시할 수 없을 정도로 크다.

직류발전기는 다시 전동기로 사용할 수 있으므로 사용상 주의사항을 다음과 같이 간추려 본다. 그러나 구체적인 사항은 제조회사와 협의하여 정하는 것이 좋겠다.

(가) 발전기로 사용할 때와 같이 단자전압 V, 계자자속으로 운전하려면 회전속도 N은 정격보다 약간 낮은 속도로 운전하게 된다.

(나) 전동기의 출력은 발전기의 정격출력에서 정격시의 손실을 뺀 것이 개략적인 한계이다.

(다) 전동기의 회전속도는 발전기의 정격속도보다 더 빠르게 할 수 없다.

또 저속운전시 베어링의 성능과 역회전이 가능한가를 검토할 필요가 있다.

(라) 사이리스터 전원으로 구동하는 경우는 맥동전류에 대한 정류 및 온도상 문제점 그리고 속도응답성의 제약 등을 충분히 검토할 필요가 있다.

(마) 전동기로 사용하는 경우 일반적으로 정속도로 운전하는 발전기보다 사용조건이 가혹하다. 그러므로 반복응력에 대한 기계적 강도를 검토할 필요가 있다.

## 6. 유도전동기의 에너지절약 운전

유도전동기는 그 종류와 용량이 다양하고 또 세부적인 다른 것보다 많이 개발되어 각종 부하에 널리 이용되고 있으므로 에너지 절약을 목적으로 하는 개선을 편의상 다음과 같이 구분하여 고찰한다.

- ① 소용량의 유도전동기를 중심으로 에너지 절약형 전동기와 에너지 절약효과가 있는 변속도 전동기 등(이런 전동기를 전용전동기라고 한다)의 에너지 절약운전
- ② 일반 유도전동기의 운전개선에 의한 에너지 절약

가. 전용전동기의 에너지절약 운전

(1) 경부하시 전압을 낮춘다.

유도 전동기는 인가전압을 낮추면 슬립이 커지기 때문에 2차 동손은 증가하지만 철손은 감소하고 또 토크가 감소되면 여자 전류의 감소에 의하여 1차 동손이 감소되므로 전체적으로 보면 손실이 감소되는 경향이다. 이것을 정량적으로 계산한 예가 그림 3.5.16과 같이 부하율에 대하여 가장 알맞은 단자전압이 존재한다는 것을 알 수 있다. 전압을 제어하는 방법은 자동적으로 최적전압을 선택하여 운전하도록 되어 있는 절전 어댑터가 있고 또 클러치 모터와 같이 운전패턴이 명확한 것은 클러치 OFF의 경부하시만 적당한 방법으로 전압을 하향조정하면 된다.

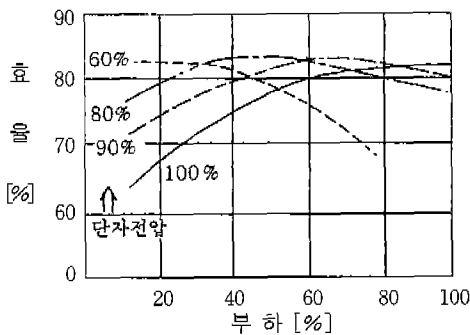


그림 3.5.16 전압변화시의 효율곡선

(2) 전원전압의 적정화

유도전동기의 효율은 단자전압에 의존하게 된다는 것을 그림 3.5.16을 통해서 이해할 수 있는 일이지만 또 한가지 중요한 것

은 전동기의 정격에 관한 것이다. 표준 유도전동기는 200V, 50/60Hz 또는 220V, 60Hz의 3가지 정격에 사용할 수 있도록 만들어 졌다.

이것은 거꾸로 말하면 어떤 정격에도 최적이지 아니라는 뜻이다. 즉 200V, 50/60Hz로 사용할 수 있는 전동기라는 것은 50Hz와 60Hz의 중간파수로 200V를 인가하여 최대효율을 얻을 수 있다고 생각하여도 틀리지 않는다. 가령, 55Hz, 200V의 전동기라면 개략적으로 그림 3.5.17과 같은 전압인 때 최대 효율을 발휘한다고 생각할 수 있다. 따라서 60Hz지역에서 정격출력과 맞게 운전하는 용도라면 220V를 인가하는 것이 상책이라고 생각한다.

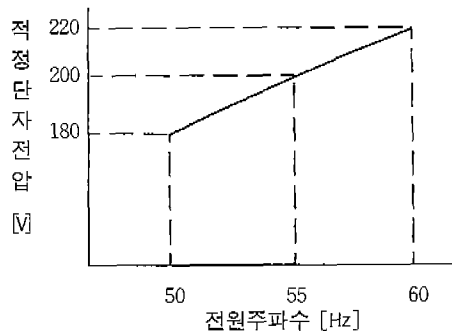


그림 3.5.17 전원전압의 적정화

(3) VVVF인버터의 에너지 절약운전

변속도전동기 손실은 표준 유도전동기보다 큰 것이 보통이다. 그러므로 변속도 전동기를 사용하는 경우는 전동기보다 더 많은 손실을 발생하는 운전시스템을 대상으로 에너지 절약을 생각하여야 한다. 그 대표적 예로 송풍기의 댐퍼제어를 들 수 있고 어떤 종류의 전동기를 적용하더라도 댐퍼제어보다 절전 효과가 크다는 것은 잘 알고 있는 바와 같다. 여기서 인버터를 사용하여 에너지 절약 효과를 높이는 방법을 생각하여 보자. 용량이 수 kW 정도되는 경우는 소형이고 값이 엷가라는 이유 때문

에 PWM방식의 인버터를 이용하고 있다.

그런데 이런 인버터의 출력전압과 전류 파형에 변조에 의한 고조파성분이 포함되어 있고 이 성분으로 인하여 유도전동기의 철손이 큰 폭으로 증가하게 된다.

그러므로 사용하는 전동기의 철심재질과 자속 밀도에 따라서 출력특성이 상당히 다르다는 점에 유의할 필요가 있다. 표준 유도전동기를 사용하는 경우에 그 출력은 60Hz정격에서 90% 정도로 떨어지고 효율도 2~3%정도 나빠진다. 또 50Hz 정격에 대하여는 더 많이 떨어지는 것이 보통이다. 그러므로 50Hz를 정격으로 하면 정격 속도 부근에서 1차전압제어 혹은 외전류 커플링제어를 하는 것과 별 차이가 없게 되기 때문에 될 수 있으면 60Hz정격으로 하는 것이 좋다.

또 이보다 더 좋은 효율로 운전하기 위하여 철심재료가 좋고 자속밀도가 낮은 고효율 전동기를 사용한다.

그리고 앞에서 설명한 것과 같이 주파수에 대한 전압의 적정화가 중요하고 저감부하에 사용하는 경우는 정토크특성을 얻기 위한  $V/F$  일정제어가 아니고  $V/F^2$  일정 등과 같이 저감토크출력에 적합한 제어를 하여야 에너지 절약 효과가 크다.

#### 나. 일반 유도전동기의 운전개선에 의한 에너지 절약

일반 유도전동기의 운전을 개선하기 위하여 먼저 알아야 할 것은 부하의 특성과 운전조건이다. 부하의 특성이라면 속도토크특성(정토크특성, 저감토크특성, 정출력특성 등) 부하의 반항토크, 기동토크, 최대토크, 부하 GD2 등을 들 수 있고 운전 조건이라면 1일 부하의 시간적 변화 혹은 1년간의 계절적 변화, 기동빈도, 제동의 유무, 과부하의 유무 등을 들 수 있다.

운전조건을 알면 그에 적절한 대책을 세울 수 있고 일반적으로 적용하는 개선대책은 다음과 같다.

#### (1) 전동기의 기동 정지에 의한 공회전의 방지

펌프나 송풍기 등은 용도에 따라서 다르겠지만 반드시 연속운전을 할 필요가 없는 경우도 있다. 이와 같은 경우는 전동기를 직접 기동 정지하는 것이 효과적이다. 유도전동기의 기동법은 직입기동, Y- $\Delta$  기동, 리액터기동, 기동보상기동(권선형 유도전동기), 저주파 기동 등이 있다.

저주파 기동이외의 다른 기동법으로 농형 유도전동기를 기동하는 경우는 다음과 같은 문제를 검토할 필요가 있다.

- (가) 기동시 발생하는 열에 의한 회전자 도체(bar, endring)의 열응력
- (나) 기동시 원심력의 변화에 의한 회전자의 반복응력
- (다) 기동전류에 의하여 bar와 endring에 작용하는 전자력의 영향
- (라) 기동전류에 의하여 발생하는 열에 의한 고정자코일 단부의 열응력
- (마) 기동전류에 의하여 고정자 endring에 작용하는 전자력의 영향 등

이러한 문제들은 보통 1일 1회이하 정도의 기동회수를 전체로 검토되고 있다. 그러므로 현재 운전하고 있는 전동기의 수명을 단축하게 된다.

고빈도 기동을 하는 전동기를 새로 제작하는 경우는 기동 정지의 빈도 및 운전 패턴 등 운전조건을 명확하게 제조사에 연락하여 사전에 충분히 검토하여야 한다. 그림 3.5.18은 전동기의 기동시에 발생하는 end ring의 변형을 보여주고 있다.

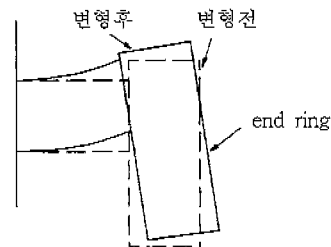


그림 3.5.18 기동시 end ring의 변형

(2) 동력 전달장치로 부하기계를 기동·정지하여 공회전을 방지

전동기와 부하기계 사이의 동력전달장치를 조절하여 부하를 기동 정지하는 방법이 있고 이와 같은 동력전달장치 중 하나가 유체커플링이다. 유체커플링은 그림 3.5.19와 같이 입력축과 출력축이 각각 독립되어 있고 각자의 축에 날개 바퀴가 서로 대향하여 장치되어 있다. 날개 바퀴 사이에 기름을 주입하면 입력축의 회전에 의하여 기름이 출력축 쪽으로 흘러서 출력축도 회전하게 된다. 이 유량을 조절하여 회전수를 영부터 최고속도까지 조절하는 것이다. 유체커플링은 먼저 전동기를 기동한 다음 속도가 증가하여 최고속으로 된 후에 유량을 증가하여 부하를 기동하는 것이다. 이 경우에 전동기의 슬립은 거의 정격으로 되어 있어 부하의 GD2을 가속화하기 위한 손실은 전동기에서 생기지 않는다.

그러므로 관성이 무거운 부하라도 기동에 의한 제한이 없어지기 때문에 농형 유도전동기도 권선형 유도전동기와 똑같이 취급할 수 있고 전동기의 몸체를 작게 할 수 있다.

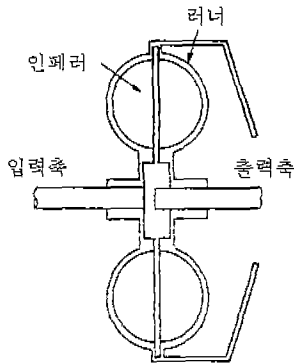


그림 3.5.19 유체 커플링

또 전동기를 정격속도로 운전하는 상태에서 부하기계를 기동 정지할 수 있기 때문에 부하기계를 반복해서 기동 정지하여도 전동기의 수명을 단축하는 일은 생기지

않는다. 따라서 기설 전동기를 사용한 고빈도 기동도 가능하다.

그러나 이 유체커플링을 기설의 시스템에 추가로 채택하는 경우는 전동기와 부하기계 사이에 유체커플링을 설치해야 하기 때문에 축방향의 길이가 길어져서 기초를 개조하여야 한다는 것이 결점이라 하겠다.

또 유체커플링을 사용하여 연속적으로 속도제어를 할 수도 있다. 이런 경우는 입력축과 출력축의 회전수 차에 의한 슬립에 비례하는 손실이 유체커플링에 생기기 때문에 속도제어 범위가 넓으면 기름의 냉각장치를 부설하여야 한다.

(3) 회전수 제어에 의한 부하의 조절

송풍기 혹은 펌프와 같은 유체부하의 경우 축동력은 회전수의 3제곱에 비례하여 변화하기 때문에 회전수제어를 하여 풍량을 조절하는 방법이 가장 효과적인 에너지 절약 대책이다. 유도전동기의 회전수제어는 슬립전력 손실이 있는 방법과 없는 방법으로 구분되고 구체적인 회전수 제어 방법은 앞 3절에서 자세히 설명하였으므로 여기서는 생략하겠다.

7. 동기전동기의 에너지절약 운전

일반적으로 사용되고 있는 교류전동기 중에서 동기전동기는 유도전동기와 비교하면 대용량, 중고속의 범위에서 효율이 대단히 높다.

이 때문에 에너지 절약이라는 관점에서 동기전동기를 이용하고자 하는 기운이 고조되고 있다.

가. 전원계통의 고역률 운전

(1) 동기전동기의 V곡선

동기전동기를 일정 전압 일정 주파수로 운전하고 무부하 또는 일정 출력상태에서 계자전류를 증감하면서 계자전류와 전기자전류의 관계를 구하면 V자 모양의 곡선

을 얻게 된다. 이것을 동기전동기의 V곡선이라 하고 그 예를 그림 3.5.20에서 볼 수 있다.

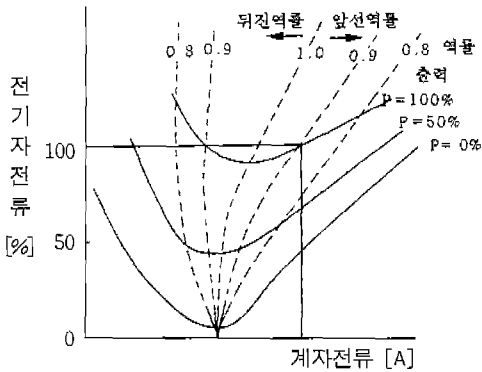


그림 3.5.20 동기전동기의 V곡선

일반적으로 동기 전동기는 역률 1.0 또는 앞선 역률로 운전한다. 그런데 V곡선을 이용하면 동일 출력으로 하고 계자전류를 변화하였을 때에 생기는 역률의 변화량을 알 수 있으므로, 동기 전동기가 접속되어 있는 계통의 역률 개선계획을 할 수 있다. 또 계자전류가 일정한 상태에서 출력이 변화한 경우에 역률의 변화량도 V곡선을 통해서 알아낼 수 있다.

### (2) 계통의 역률개선

보통의 공장부하는 대부분 비교적 소용량의 농형 유도전동기로 구동하고 있으므로 공장 전체로 보면 상당히 많은 무효전력을 소비하고 있는 것으로 된다.

그렇기 때문에 동기전동기는 공장 내에서 부하용량이 가장 큰 기계의 구동용으로 사용하고 앞선 역률로 운전하여 이들 무효전력을 공급하고 공장의 전원계통 전체를 고효율로 운전한다.

그러므로 동기전동기의 운전은 단순히 전동기 자체의 고효율운전에 구애받지 말고 공장전체의 전력사정을 감안하여 에너지 절약효과를 높일 수 있도록 운전할 필요가 있다.

이상과 같이 동기전동기는 농형 유도전동기와 달리 계자를 조정하여 임의의 역률로 운전할 수 있기 때문에 유도전동기보다 더 큰 에너지 절약 효과를 기대할 수 있다.

### 나. 유도전동기와 동기전동기

펌프 송풍기의 구동용 등 일반적으로 널리 사용되는 교류전동기는 동기 전동기와 유도전동기가 있다. 이들 전동기는 각각 독자적인 특징을 가지고 있으므로 그것의 선정은 전동기의 종류, 부하가 요구하는 특성과 전동기의 특성, 신뢰성, 보수하기 쉽고 어려운 차이점, 시설비와 운전비 등 부하조건을 종합적으로 검토하여 유도전동기로 할 것인지 아니면 동기전동기로 할 것인지 결정하여야 한다. 어느 쪽이 유리하다고 딱 잘라서 정하기는 대단히 어려운 문제이지만 일반적으로 유도전동기와 동기전동기는 그 특성과 시설비 및 유지비 등에서 다음과 같은 차이가 있다.

- (1) 전동기의 효율은 고속도기는 거의 차이가 없지만 저속도기일수록 동기전동기 쪽이 높다. 따라서 유지비도 저속으로 될수록 차이가 크다.
- (2) 동기전동기는 앞선 역률로 운전하여 계통의 역률을 개선할 수 있기 때문에 유도전동기와 같이 전상 콘덴서에 의한 역률개선을 하지 않아도 된다.
- (3) 브러시리스 동기전동기는 전동기 본체와 함께 교류여자기와 회로정류기가 있어야 하고 또 보통의 기동장치와 함께 직류 여자장치도 필요하기 때문에 특히 용량이 작은 것은 초기시설비가 많이 든다.
- (4) 농형유도전동기의 순정재기동(instantaneous restart)대책은 비교적 간단하지만 동기전동기는 순간정지시 일어날 수 있는 탈조(step out)를 방지하기 위하여 부하조건에 대응한 대책을 세워야 한다.

그러므로 시설비와 인건비 등을 종합적으로 검토하여 동기전동기 혹은 유도전동기를 선택하는 기준으로 그림 3.5.21과 같은 적용구분을

생각할 수 있다.

동기전동기는 브러시리스화의 발달에 힘입어 기능적으로 보나 일상적인 보수와 점검을 하기 쉽다는 점으로 보더라도 유도전동기와 별로 차이가 없게 되었고 동기전동기 본래의 고효율특성을 충분히 살려서 에너지 절약형 전동기로서 그 응용범위가 확대될 것으로 기대된다.

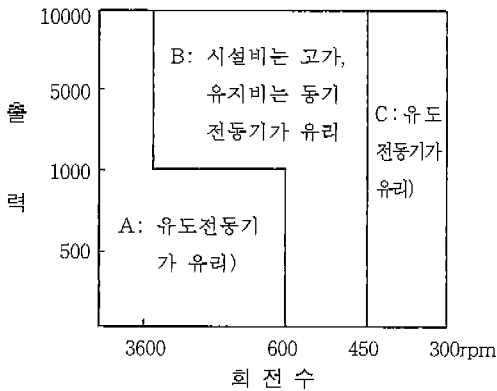


그림 3.5.21 교류전동기의 적용

## 8. 전동기의 기동과 역률개선

### 가. 전동기의 기동운전

전동기의 기동전류는 회전자가 정지된 상태에서 전원을 넣었을 때에 흐르는 전류이고 보통 전부하전류의 5~7배 정도 되기 때문에 주의할 필요가 있고 다음 3가지 점에 유념하여야 한다.

전원에 미치는 영향: 기동전류가 전원에 대하여 상대적으로 크면 큰 전압강하가 생기고 이것은 그 전동기 뿐만 아니라 동일계에 접속되어 있는 다른 전동기와 제어기 및 설비에 지장이 있다.

전동기에 미치는 영향: 기동빈도가 높으면 기동전류의 제곱평균치에 의하여 전동기가 가열되고 그것이 전동기의 온도상승한도를 초과하면 소손사고에 이른다.

또 부하의 GD2가 크면 기동시간이 길어지고 그 사이에 과열소손될 수도 있다.

부하에 대한 가속의 영향: 급하게 가속되는 경우는 피구동기계에 심한 충격을 주어 제품이 손상된다. 이런 일이 생기지 않게 하려면 매끄럽게 기동할 수 있도록 기동토크를 제한한다.

또 전동기의 기동전류는 KS규격으로 전동기의 종류별 상한치가 정해져 있고 명판에 그 기동계급을 명시하도록 되어 있다.

### (1) 농형 유도전동기의 기동법

농형 유도전동기의 기동법은 전전압기동과 감전압기동으로 구분되고 감전압기동은 Y $\Delta$ 기동, 리액터기동, 기동보상기동 등이 있다.

전전압기동(직입기동)은 전동기에 직접 정격전압을 인가하여 기동하는 방법이다. 소용량의 전동기는 기동전류가 전원에 미치는 영향이 비교적 적기 때문에 전전압기동을 많이 채택하고 있다.

Y $\Delta$ 기동은 기동시 고정자권선을 Y결선으로하여 각 상에 정격전압의 1/3배의 전압을 인가하고 정상운전으로 되기 직전에  $\Delta$ 결선으로 전환하여 각 상에 정격전압을 인가한다. 이 방법은 기동토크가 1/3로 감소되므로 기동토크가 커야하는 부하에 적합하지 않고 중용량이상 또는 기동빈도가 심한 것은 피하여야 한다. 또 펌프와 같이 부하의 관성이 작은 것은 Y결선을  $\Delta$ 결선으로 전환하는 짧은 시간에 회전수가 큰 폭으로 저하되고 그때문에 재투입시의 전류가 심하게 증대될 수도 있으므로 충분히 검토할 필요가 있다.

리액터기동은 전동기의 1차측에 직렬로 철심리액터를 접속하여 감압하는 것으로 펌프 혹은 송풍기와 같이 기동토크가 작은 부하에 대하여 기동전류를 제한하고 싶은 경우에 사용한다. 기동전류는 감압비(減壓比)와 비례하여 감소되고 기동토크는 감압비의 제곱에 비례한다. 또 전동기가 가속



표 3.5.7 농형유도전동기의 기동법

항 목	전전압기동	감 압 기 동		
		Y-Δ 기동	리액터 기동	기동보상기동
전동기 용량	저압소용량	저압 소용량, 중용량	고압, 대용량, 중용량	
상 전 압	V	0.58 V	$\alpha V$	$\alpha V$
기동전류(1상)	Is	0.33 Is	$\alpha Is$	$\alpha Is$
기동전류(선로)	Is'	0.33 Is'	$\alpha Is'$	$\alpha 2 Is'$
기 동 토크	Ts	0.33 Ts	$\alpha 2 Ts$	$\alpha 2 Ts$
전 원 전 압	저압	저 압	주르 고압	저압, 고압
비 고	-	전동기의 리드선은 b본	보통 50%, 65%, 80%의 전압탭( $\alpha$ )가 있다. 이것으로 기동전류와 기동토크를 조정한다.	

되는데 따라서 전류가 감소되기 때문에 리액터에 의한 전압강하는 점차 감소되는 한편 전동기의 단자전압은 상승하고 토크도 상승한다. 그러므로 리액터를 단락할 때 돌입전류가 작고 따라서 기동과 가속이 매끄럽게 진행된다. 그러므로 기동시 토크가 작고 가속되면서 토크가 증가하는 부하(펌프, 송풍기)에 적합하다. 또 완충기동을 하는 경우도 사용된다.

기동보상기동은 3상 단권변압기를 사용하여 감압기동하는 것으로 기동시 변압기의 2차측 저전압을 전동기에 인가하여 기동전류를 억제하고 기동후에 변압기를 분리하고 정격전압을 인가한다. 기동전류는 변압비의 제곱에 비례하여 제한되고 기동토크도 변압비의 제곱에 비례하여 감소되므로 기동토크와 기동전류 감소율은 거의 같다. 이 기동법은 압축기 혹은 냉각기에 적합하다.

표 3.5.7은 농형 유도전동기 기동법을 비교한 것이다.

#### (2) 권선형 유도전동기의 기동법

전동기의 2차회로에 저항을 삽입하여 기동전류를 억제하는 방법으로 금속저항기 혹은 액체저항기를 사용한다.

액체저항기는 금속저항기와 비교하면 다음과 같은 장단점이 있다.

(가) 열용량이 크기 때문에 부피가 작다.

이것은 전동기의 용량이 클수록 그 차이가 크고 값도 저렴하다.

(나) 저항변화가 무단계이므로 기동은 물론 속도제어용으로 사용할 수도 있다.

(다) 전해액의 농도를 가감하여 저항 값을 자유롭게 조정할 수 있다.

(라) 금속저항기와 같이 접촉부분이 없기 때문에 방폭구조로 만들기 쉽다.

(마) 금속 저항기보다 온도에 의한 저항 변화가 큰 것이 결점이다. 그러므로 대용량 혹은 속도제어용 액체저항기는 냉각할 필요가 있다.

#### 나. 역률개선

유도전동기는 그림 3.5.22와 같이 용량이 작을수록 또 경부하로 될수록 역률이 나빠진다. 그리고 같은 용량이라도 극수가 많을수록 역률이 나쁘다.

전동기의 역률을 개선하여 얻을 수 있는 효과는,

(1) 배선의 전력손실을 경감할 수 있다.

(2) 설비용량에 여유가 생기고 외관상 설비용량이 증가한 것으로 된다.

(3) 전압강하와 전압변동을 개선할 수 있다. 등이다.

전동기의 역률을 개선하기 위하여 부설하는 진상용 콘덴서의 용량은 내선 규정에 명시되어 있고 과거부터 잘 지켜지고 있는 것으로 판단되므로 구체적인 설명은 생략하겠다.

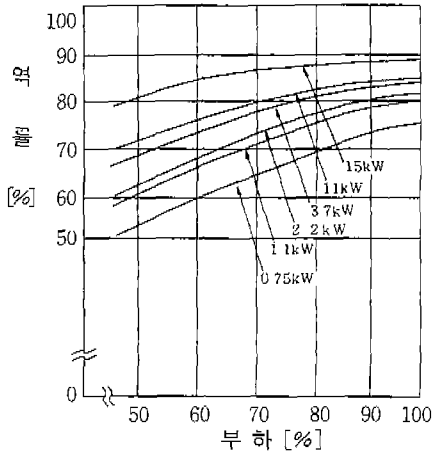


그림 3.5.22 유도전동기의 부하율과 효율

### 9. 전동기의 관리

전동기와 같이 회전부가 많은 것은 점검과 보수를 게을리하여 보전상태가 좋지 않으면 손실이 증가하고 동시에 고장의 원인도 된다. 그러므로 기기의 성능을 제대로 유지하고 불필요한 전력손실이 없게 하기 위해서는 보전관리를 철저히 할 필요가 있다.

#### 가. 전동기의 점검과 정비

전동기의 정비 점검은 고장을 예방하고 고장소를 조기에 발견하기 위하여 필요한 업무이고 점검시 눈여겨 볼 점을 간추려 보면 표 3.5.8과 같다.

표 3.5.8 점검업무의 착안점

유도전동기	교류정류자 전동기, 직류전동기
① 베어링 및 윤활유의 상태	① 브러시의 마모
② 벨트의 이완	② 정류자면에 부착한 먼지
③ 커플링의 결합상태	③ 정류상태
④ 기초 볼트의 이완	
⑤ 통풍구, 망의 오염상태	
⑥ 온도상승	
⑦ 기동 정지 상태	

#### 나. 온도상승 관리

전동기는 철손과 동손 및 기계손 등의 손실에 의하여, 또 절연물 자체의 누설전류와 유전체손에 의하여 시간이 경과함에 따라서 온도가 상승하고 발열량과 방열량이 평형되었을 때 일정한 값으로 된다. 전동기의 온도가 너무 높다고 생각되면 외피(housing), 고정자권선, 냉각공기의 흡입구 및 배기구 등에 온도계를 부착하여 정확한 온도상승 값을 측정한다. 온도상승 한도는 절연종류(A종, E종, B종, F종, H종 절연)에 따라서 각각 다르고 KS규격에 명시되어 있으므로 참고하기 바란다.

전동기의 온도가 이상하게 상승하는 원인으로 다음과 같은 점을 지적할 수 있으므로 주의하여 살펴도록 한다.

- (1) 전원전압의 불평형
- (2) 전압강하가 큰 때
- (3) 과부하상태로 운전
- (4) 베어링의 마모로 인한 공극의 불평형
- (5) 먼지 때문에 통풍구가 폐쇄
- (6) 먼지가 부착하여 냉각효과가 저하
- (7) 슬립링 단락장치부의 접촉불량

최근 온도관리하기 쉽도록 시온재(示溫材)를 부착하고 그 색의 변화에 의하여 온도를 알아내는 방법도 개발되어 있으므로 이것을 이용하면 편리하다.

#### 다. 경부하 운전 또는 공회전의 방지

경부하로 운전을 계속하거나 공회전(무부하 운전)하면 전력의 낭비뿐만 아니라 역률의 저하, 선로의 전력손실이 증가하고 동시에 작업능률도 떨어지게 된다. 그러므로 경부하 운전이나 공회전을 예방하기 위하여 다음과 같은 대책을 마련할 필요가 있다.

- (1) 무부하로 되면 자동정지 또는 경보하는 장치를 부착한다.
- (2) 재료의 운반이나 송출방법을 자동화한다.
- (3) 조작하기 쉬운 위치에 스위치함을 설치하여 손쉽게 조작한다.



### 라. 전압의 밸런스 체크

불평형 전압이 3상 유도전동기에 미치는 영향은 다음과 같다.

- (1) 출력과 회전수가 저하한다.
- (2) 철손이 증가하고 효율이 저하한다.
- (3) 정상분 자계와 역상분 전류, 역상분 자계와 정상분 전류가 쇄교하여 회전자에 전원주파수의 2배의 맥동토크가 발생한다. 특히 전압불평형이 큰 경우 혹은 관성이 작은 전동기는 이 맥동토크가 문제이다. 그러므로 전원전압의 밸런스도 정기적으로 체크할 필요가 있다.

## 10. 전동기설비의 에너지 절약요령

- (1) 전동기의 기종은 부하기계의 토크특성과 속도특성을 검토하여 그것에 적합한 것을 선정한다.
- (2) 일반 전동기는 부하율 80~100%에서 최고효율로 운전할 수 있으므로 90%부근에서 운전할 수 있도록 전동기의 용량을 산정한다.
- (3) 일반 전동기의 과부하에 대한 보증한도는 용량 0.75kW이하는 125%, 0.75kW 이상은 115%로 보면 된다. 또 단속부하인 경우는 20~25% 정도의 과부하도 큰 지장은 없는 것으로 되어 있다.
- (4) 고효율 전동기는 초기투자비가 일반 전동기보다 고가이지만 운전단가가 저렴하여 보통 2~3년 내에 투자비 증가분을 회수할 수 있다.
- (5) 전동기의 정격전압은 전동기의 출력 37kW 이하는 200V급내지 400V급, 37kW 이상은 3kV급 내지 6kV급이 유리하다.
- (6) 펌프, 공기압축기 등과 같이 동일부하에 대하여 여러대의 전동기를 사용하는 경우는 부하량의 변화에 맞춰서 운전대수를 제어한다.
- (7) 송풍기, 펌프 등은 부하의 시간적 변동에 대응하여 전동기의 회전속도를 제어하

는 방법이 에너지 절약효과가 크다. 따라서 회전수제어를 하는 경우는

- ① 운전패턴에 적합한 회전수를 얻을 수 있고
  - ② 에너지 손실이 가장 적음, 즉 효율이 높은 회전수 제어 시스템
  - ③ 초기 투자비와 신뢰성 등을 면밀히 검토하여 선정할 필요가 있다.
- (8) 교류전동기의 1차주파수제어(VVVF)는 다음과 같은 특징이 있으므로 부하조건을 면밀히 검토하여 적용여부를 결정한다.
- ① V/f제어를 하기 때문에 충격이 없는 기동을 할 수 있고 ON-OFF 제어에 가장 적합하다.
  - ② 효율이 좋은 이상적 변속이 가능하다.
  - ③ 시설의 전동기설비에도 적용하기 쉽다.

또 정지 셀비우스 제어방식은 권선형 전동기의 2차전력을 전원으로 반환하게 되므로 고효율 운전을 할 수 있다.

- (9) 변속도제어 시스템에서 인버터의 효율은 정격시에 전압형은 88~92%, 전류형은 94~96% 정도된다.
- (10) 직류전동기를 운전하기 위한 전원방식 중에서 MG전원방식의 효율은 76~90%, 사이리스터 전원방식은 95~97% 정도된다.
- (11) 전동기설비에 진상용콘덴서를 설치하는 경우는 전동기 가동시만 콘덴서가 연결 되도록 시스템을 구성한다.

➤ 다음호에 계속 됩니다