

# 에너지 절약 電氣設備技術(V) (電動機設備)

池哲根 (서울대 工大 電氣工學科 教授)

金昌燮 (에너지자원기술개발지원센터 연구원)

姜遠求 (한전전력경제연구실 부장대리)

## 제 1 장 전력관리

## 제 2 장 전원설비

## 제 3 장 배전설비

## 제 4 장 조명설비

## 제 5 장 전동기설비(전호에 이어 계속)

### 5.1 에너지 절약형 전동기

가. 전동기의 종류와 특성

전동기에도 여러가지 종류가 있으며 각각 고유의 특성이나 특징이 있다. 한편 구동되는 기계축(부하)이 요구하는 토크 특성에도 차이가 있으며 운전조건이나 그 제어방식, 환경조건에도 차이가 있다.

이와 같이 전동기와 부하의 조건을 충분히 인식하여 부하의 조건에 가장 적합한 전동기를 선정하는 데에는

- ① 요구되는 기능을 충분히 만족시키는 전동기설치에 요하는 초기투자의 저감,
- ② 전력비나 보수점검비 등 운전유지비의 저감,
- ③ 부적합한 조합에 의한 여러가지 장애방지와 신뢰성의 향상 등을 고려 하여야 한다.

여기서는 대표적인 전동기의 특징과 토크 특성, 일반부하의 토크특성과의 관계에서 전동기의 선정에 필요한 검토항목을 살펴본다.

이것은 어디까지나 부하와의 관계에서만 살핀 조건이며 이외에 전동기의 사용환경조건에 따른 보호구조나 절연종별에 대해서는 생략하였다.

### (1) 유도전동기

유도전동기는 회전자계의 속도(동기속도)보다도 적은 속도(이 차이를 슬립이라고 한다)에서 토크를 발생하고, 동기속도에서 토크는 0으로 된다. 이점이 후술하는 동기속도에서 토크를 발생하는 동기전동기와 본질적으로 다르며, 엄밀한 의미에서는 정속도 전동기는 아니다.

그러나 정격부하시의 슬립은 일반적으로 2~5[%] 정도이며, 정격회전수는 1차권선의 극수와 전원주파수에 거의 대응하기 때문에 넓은 의미에서는 정속도 전동기라고 한다.

유도전동기는 구조적으로는 1차권선과 2차권선만으로 구성되어 있어 다른 전동기에 비하여 가장 구조가 간단하고 견고하며 값이 싸기 때문에 일반산업용으로서 가장 널리 사용되고 있다.

### (2) 직류전동기

직류전동기는 광범하고 자유로운 정밀 가변속운전이 가능하고, 시동, 제동특성이 우수하여 고속도 조작운전에 최적의 성능이 있는것으로 널리 사용되어 왔다.

직류전동기는 여자방식에 따라 분권전동기, 직권전동기, 복권전동기, 타려분권전동기의 4종

류로 분류된다. 인가전압 V, 전기자전류 I<sub>a</sub>, 전기자내부저항 R<sub>a</sub>, 계자자속, 회전수를 N이라하면, 어느것이나 그 특성은 다음 식으로 표시된다.

$$\text{회전수 } N = \frac{K(V - I_a R_a)}{\phi} \quad (1)$$

$$\text{토크 } T = K\phi I_a \quad (2)$$

또한 토크는 부하전류에 비례한다. 직권전동기는 자속이 부하전류에 비례하는 것으로, 회전수는 부하전류에 반비례하고, 토크는 부하전류의 제곱에 비례한다.

복권전동기는 화동복권과 차동복권의 2종류가 있으나, 일반적으로 화동 복권이 사용되고 있으며 분권과 직권의 중간특성을 갖는다.

직류전동기는 시동, 속도제어, 제동, 역전, 정지 등 다섯가지 기능이 쉽게 실현되기 때문에 그 용도는 주로 압연기, 제지기, 기중기, 권상기 및 공작기용으로 많이 쓰이고 있다.

### (3) 동기전동기

동기전동기는 주파수와 극수에 의하여 정하여지는 일정속도로 운전되며, 유도전동기에 비하여 최대토크가 크고, 고속대용량기의 제작이 가능하다.

동기전동기는 브러쉬가 있는 것이 일반적이나, 근년 제어기나 전력전자 분야의 진보발전에 따라 동기전동기분야에도 브러쉬리스(Brushless)가 실현되어 사이리스터 모터와 같은 새로운 전동기도 개발되어 있다.

동기전동기의 장점은

① 유도전동기에 비하여 효율이 좋고, 공극(gap)도 크다.

② 역률, 효율이 좋기 때문에 운전경비가 저렴된다.

③ 역률을 임의로 설정할 수가 있어 부하에 관계없이 역률을 100[%]로 조정할 수가 있으며, 앞선 역률로도 조정할 수가 있다.

단점은

① 시동특성이 나쁘며, 여자장치가 필요하다.

② 브러쉬가 있는 것은 보수가 필요하며 기기의 가격이 높다.

(4) 부하특성에 상응한 전동기 선정

부하특성에 상응한 적당한 전동기의 선정예를 표 5.1에 표시한다.

### 나. 에너지 절약형 전동기

#### (1) 고효율 전동기

고효율 전동기는, 생산설비 중에서 넓은 범위에 걸쳐 사용되고 있는 저압 농형 유도전동기의 효율을 보다 높게 한 것으로서, 전력절감의 효과가 기대되고 있다.

이 에너지 절약형 전동기는 철심량을 증가시켜서 코어손실을 감소시키고, 또한 도체의 단면적을 크게하여 코일손실의 감소를 도모하고 있다. 더우기 에어갭의 적정화나 표유부하손실을 경감시키기 위하여, 고급 철심 재료를 채택하고 있다.

고효율 전동기의 특징은

① 가동시간이 긴 설비일수록 경제적으로 유리하다.

그러나 초기투자비가 일반전동기에 비하여 고가이며 가격과 에너지절약비와의 분기점은 3~5년 정도이다.

② 고효율전동기는 운전시 손실을 적게하고 효율을 높이기 위하여, 전부하시의 슬립을 작게 하였고, 기동시의 토크를 작게 하였으므로 기동빈도가 높은 것에는 부적당하다.

③ 고효율 전동기도 일반전동기와 같이 90[%]의 부하부근에서 효율적으로 동작하므로 극단적인 하운전은 효율이 나빠진다.

④ 전원전압이 전동기의 정격전압과 크게 다를 경우에는 효율이 크게 변화한다.

⑤ 효율이 높고 소비전력이 적다.

고효율 전동기와 표준전동기의 효율비교를 하면 손실이 20~30[%]정도 저감되어 그만큼 효율이 향상된다.

⑥ 신뢰성이 높고 수명이 길다.

고효율 전동기는 손실이 적어서 온도상승이 낮으므로, 절연과 축수 등의 신뢰성이 높아지고 수명도 길어진다.

⑦ 소음이 적다.

전동기의 소음원은 주로 냉각할 때의 통풍음과 전자음에 의한 것이다. 고효율 전동기는 손실이 저감되므로 냉각에 필요한 풍량은 적어도

표 5.1 부하특성에 상응한 전동기 선정예

| 부하의 요구                                    | 적당한 전동기               |                  | 용도                           |
|---|-----------------------|------------------|------------------------------|
|   | 교류                    | 직류               |                              |
| 부하의 상태에 관계없이 완전하게 일정속도를 요하는 것             | 동기전동기                 |                  | 시멘트, 석탄의 분쇄기, 대마력 공기압축기, 송풍기 |
| 무부하로부터 전부하까지는 거의 일정속도를 요하는 것              | 유도전동기                 | 직권전동기            | 선반, 염색반                      |
| 속도조정가능, 각속도마다 전부하로부터 무부하까지 거의 일정속도를 요하는 것 | 권선형 유도전동기, 분권형 정류자전동기 | 직권전동기, 위드레오너드 방식 | 엘리베이터, 권상기, 기중기              |
| 속도를 수단제로 변화시킬 수 있으며 각 부하까지 거의 일정속도를 요하는 것 | 다속도 유도전동기             | 상동               | 상동                           |
| 부하의 증가에 따라 속도가 떨어지는 것                     | 직권정류자전동기              | 직권전동기            | 전차, 자동차                      |
| 급격한 부하변화와 빈번한 역전 및 속도조정을 요하는 것            | 사이리스터방식, 일그너드방식       |                  | 대형 분쇄압연권상기                   |

되고 팬의 지름을 적게할 수 있으므로 통풍량이 적어진다. 또 전술한 바와 같이 자속밀도가 낮으므로 전자음도 적어져서 소음이 적어진다.

### 5.2 전동기 설비의 에너지 절감

철, 비철금속, 종이, 펄프산업 및 각종의 물처리설비, 기타 기계산업은 에너지로서 전력을 대규모로 소비하고 있으나 이 전력소비의 60 [%]는 전동기를 구동하기 위한 것이다. 그러므로 전동기를 효율적으로 이용하는 것이 전동력설비의 전력절감면에서 대단히 중요하다.

전동력설비에 있어서의 전력절감의 구체적인 착안점으로서의 다음의 항목을 들 수 있다. 이들을 종합적으로 분석, 검토함으로써 고가인 전기에너지를 유효하게 활용하여 합리적인 사

용상태를 실현할 수가 있다.

- ① 역률의 개선에 의한 전력요금의 절감
- ② 구동용량의 재검토에 의한 최적효율운전
- ③ 고효율기기의 도입에 의한 전력사용량의 삭감
- ④ 제어방식의 재검토에 의한 고효율운전
- ⑤ 동력전달방식의 재검토에 의한 고효율운전
- ⑥ 배전방식의 재검토에 의한 전력손실의 삭감
- ⑦ 공회전방지에 의한 낭비전력의 삭감
- ⑧ 안정전원확보에 의한 전기기기의 성능유지
- ⑨ 안전관리에 의한 성능유지와 장수명화

에너지 절감의 대상은 천차만별한 것으로 간단히 논한다는 것은 어렵다. 예를 들면 동일한 전동기에 있어서도 사용되는 설비대상에 따라 그 적용은 대단히 다르다. 1대의 전동기를 생각할 때, 다만 축출력을 얻는 것만을 필요로 한다면 가장 효율이 높은 전동기의 선정은 용이하다. 그러나 유량이나 압력을 제어하는 구동기인 경우에는 응답성, 정밀도, 빈도 등의 제약을 받는다. 또 전동력설비중에는 타설비, 타구동기와와의 협조, 속응성, 사고시의 안전 등은 물론, 구동기의 특성, 전원용량에 대하여도 충분한 검토가 필요하다.

이들의 에너지 절감계획은 각각의 설비 고유의 최적화법이 있는 것으로, 개별로 검토하지 않으면 안되나 계획의 초기에는 전체를 검토하는 의미에서 일반적으로 고찰하는 것이 알기 쉽다.

상이한 기준의 검토는 상이한 결과를 일으키기 쉬운 것으로, 단체시스템, 플랜트의 각 기준으로 분리하여 생각하는 것이 좋다.

#### 가. 에너지 절약적 전동력 설비 계획

가장 널리 쓰이고 있는 유도전동기를 대상으로 에너지 절감의 검토사항에 대하여 고찰한다. 전동력설비의 에너지절감은 전동기에 대하여 검토함과 동시에 부하측의 에너지 절감의 가능성에 대하여 충분한 검토를 할 필요가 있다.

## (1) 전동기의 소비 전력 특성

전동기의 축출력  $P$  [kW], 회전수  $N$  [rpm] 및 부하토크  $T$  [kg · m] 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$P = \frac{TN}{974} \text{ [kW]}$$

따라서 회전수가 감소함에 따라서 축출력도 감소됨을 알 수 있다.

부하토크는 일반적으로 정토크, 비례토크 및 제곱토크의 3종류가 있다.

특히 송풍기, 펌프류와 같은 제곱토크의 기계부하에서의 축출력과 회전수와의 관계를 보면 회전수가 정격의 80[%]일때, 축출력은 정격시의 51.2[%], 회전수가 정격의 50[%]일때 축출력은 정격시의 12.5[%]로 된다.

## (2) 부하특성

전동기의 효율은 부하율에 따라 변화하며, 부하율(L)은 정격출력  $P_o$ 에 대한 실제 부하용량  $P_m$ 의 백분율로서 다음과 같이 표시된다.

$$L = \frac{P_m}{P_o} \times 100[\%]$$

소용량일 때 효율은 비교적 낮으며, 용량이 증가함에 따라 효율은 상승한다. 부하율이 감소하면 효율은 저하되고 특히, 부하율이 50~60[%] 이하일때 그러한 경향이 뚜렷하다. 이와 같은 사항으로 정격용량은 운전시 부하율이 70~100[%] 범위가 되도록 선정하는 것이 좋으며, 또한 이 경우 기동조건과 관련하여 시동토크 및 최대토크가 운전상 문제점을 발생하지 않도록 검토되어야 한다.

## (3) 전동기 효율

전동기의 효율은 유효출력과 유효입력과의 비를 말하며 다음과 같이 표시된다.

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{P_o}{(P_o + L)} \times 100[\%]$$

단,  $\eta$ : 효율,  $P_o$ : 출력,  $P_i$ : 입력, L: 손실

손실은 고정손(철손, 풍손, 마찰)과 부하손(동손, 표유손)이 있다.

이미 설비되어 있는 전동기의 효율을 개선한다는 것은 어려운 것으로, 일반적으로 고효율 전동기로 교환한다. 또 신설하는 전동기는 효

율이 좋은 전동기로 계획하는 것이 좋다.

이것은 전동기의 신뢰성 향상의 면에서도 실 부하에 가까운 출력의 전동기로 할 필요가 있으며, 이와같이 적정용량으로 함으로써 설비를 절감할 수 있다.

## (2) 전동기 용량의 산정

## (가) 연속사용의 경우

부하가 시간에 관계없이 일정한 경우에는 부하기계의 효율의 오차, 부하의 사용조건에 따른 변화비율 및 전원전압의 변동에 의한 온도 상승등의 여유를 고려한 소요동력  $P$ 에 대하여 5~25[%]정도 가산한 값을 정격으로 한다. 부하에 대한 여유를 너무 크게 취하면 전동기의 치수가 너무 커져 가격면에서 불리하게 될 뿐만 아니라 특성에서도 그림 5.1에 표시한 바와 같이 경부하로 될수록 효율, 역률은 저하하는 것으로, 전력소비면에서도 불리하다. 그러므로 여유를 취할 때에도 부하의 성질을 경험과 실험적인 견지에서 판단하여 결정해야 한다.

## (나) 단시간정격의 경우

그림 5.2에 표시한 바와 같이 단시간정격의 경우에는 포화 온도  $\theta_{\infty}$ 에 달하기 전에 전원에 개폐되므로 동일한 출력의 연속정격인 전동기에 비하여 허용발생손실을 크게 할 수가 있는 것으로 대출력인 것으로 사용할 수 있다.

여기서 연속정격인 전동기와 동일냉각방식인 경우, 동일치수의 전동기로서 낼 수 있는 허용출력을 구하여 보자.

$$P' = P \sqrt{\frac{1}{1 - e^{-u/\tau}}} \quad (3)$$

여기서  $P'$ : 단시간정격시의 허용출력

$P$ : 연속정격시의 허용출력

전동기의 열시상수는 개방형보다 전폐형이, 극수가 적은 것보다 많은 것이 크고, 또 전동기치수가 커짐에 따라 커진다. 일반적으로는 0.5~1.5시간이다.

또 시간정격이 극단으로 짧은 때는 허용출력은 대단히 커지기 때문에 온도 상승이외에 전동기토크와 부하토크와의 관계, 구조면에서는 축 및 베어링의 강도 등을 고려하지 않으면 안된다.

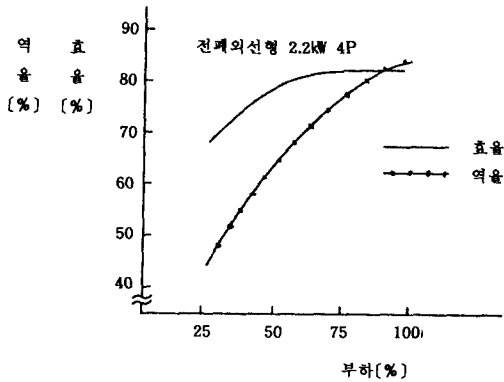


그림 5.1 출력에 대한 효율과 역률 상태

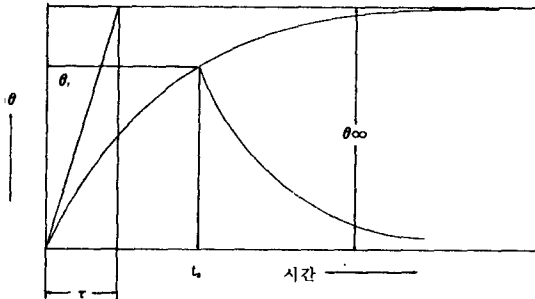


그림 5.2 단시간정격의 시간과 온도와의 관계

(다) 반복사용의 경우

반복사용은 운전시간 및 정지기간이 열적평형에 달하는 시간보다 짧고, 실질적으로 일정한 부하가 반복되므로, 온도는 그림 4.27의 곡선에 따라 상승하여 최종적으로  $\theta_1$ 과  $\theta_2$ 의 온도로 낙착된다. 여기서는 1주기의 기간이 10분 이하인 경우를 상정하여 사용조건에 따라 손실평균법을 이용하여 반복사용시의 전동기의 출력을 구하여 본다.

① 손실평균법

손실평균법은 1주기중의 발생손실이 평균하여 발생하는 것이라 하여 평균발생손실을 구하여 연속사용시의 부하 및 [kW]의 손실과 같은 것인가 하는 것으로 정격을 정하는 것이다. 그림 4.28에 도시한 반복운전에서의 1주기의 평균손실  $La$ 는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$La = \frac{L_1 + L_2 t_e + L_3}{t_e} \dots\dots\dots(4)$$

- 여기서  $L_1$  : 시동시 발생손실(W·S)
- $L_2$  : 운전시 발생손실(W)
- $L_3$  : 전기제동시 발생손실(W·S)
- $t_e$  : 등가주기(S)

등가주기  $t_e$ 는 가속 감속 정지기간은 냉각효과가 저하하는 것을 고려하여 주기  $t$  대신으로 이용하여 다음식으로 표시할 수가 있다.

$$T_e = \alpha t_1 + \alpha t_2 + \alpha t_3 + \beta t_4 \dots\dots\dots(5)$$

여기서  $\alpha$ 는 가감속시,  $\beta$ 는 정지시의 냉각계수로 표 4.30에 그 일례를 표시하였다.

이와같이 하여 구한 평균손실  $La$ 를 연속정격시의 발생손실과 비교하여 전동기의 온도상승 및 허용출력을 구한다.

5.3 전동기의 제어 시스템

가. 종류 및 특성

종래, 송풍기의 풍량제어나 펌프의 유량제어는, 전동기를 정속으로 운전되고 있는 것을 밸브 혹은 댐퍼의 조정에 의하여 제어하여 왔으나, 이 경우 전동기의 축동력은 떨어지지 않는, 효율이 낮은 구동시스템이 많았다. 그러나 부하용량의 시간적변동에 대응하여 회전속도의 가변제어를 한다면, 한층 더 손실경감과 성력화를 도모할 수 있다.

최근에는 이러한 전동기의 속도를 가변하는 방법인 회전수 제어 방식이 선택되는 경우가 많아지고 있다.

정회전수 전동기를 사용하는 밸브에 의한 제어의 경우에는 밸브저항이 증가되므로 회전수 제어에 비하여 양정이 증가하여 그만큼 전력을 많이 소비하게 된다.

(1) 회전수 제어

표 5.2 교류전동기의 회전수제어방식의 예

| 전동기의 종류   | 회전수 제어방식  |
|-----------|---|
| 농형 유도전동기  | 1차 주파수 제어(VVVF)와 전류 커플링 제어 유체 커플링 제어            |
| 권선형 유도전동기 | 2차 저항제어<br>2차 여자제어(정지셀비우스)<br>2차 여자제어(초동기 셀비우스) |
| 동 기 전 동 기 | 1차 주파수 제어(VVVF)<br>무정류자 전동기(사이리스터 모터)           |

교류전동기의 회전수제어 방식에는 여러가지 있으나, 에너지 절약적으로 보면 표 5.2와 같다.

나. VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)

(1) VVVF의 필요성

전동기의 속도를 제어하는 방법에는 지금까지 여러가지 방법이 개발되어 사용되어 왔으나 이를 크게 대별하면 기계적인 가변속장치와 전기적 가변속장치로 나눌 수 있다.

이들 전동기 속도제어방식중에서 가장 많이 보급되어 있는 직류 레오나드방식 VS MOTOR와 VVVF제어에 의한 장단점을 비교하면 표 5.3과 같다.

이상과 같은 모터 속도제어장치의 장단점을 종합 비교해 보면 결국 교류 모터의 속도 제어에는 VVVF가 가장 유리하다.

그러나 아직까지는 다른 방식에 비해 고가이므로 초기 투자를 많이 요하게 된다. 따라서 VVVF를 설치시에는 부하조건과 운전시간에 따른 에너지 절약효과와 투자비용에 따른 경제성면을 비교검토하여 결정해야 할 것이다.

그러나 지금까지의 VVVF 적용실패를 볼때 제곱저감 토크부하(펌프, 팬, 블로어 등)에 적용시 VVVF 적용에 의한 에너지 절감효과가 초기투자분을 단기간(3~4년이내)에 상쇄하고 있으며, VVVF 자체의 가격도 점차 저렴해지고 있으므로 경제성은 더욱 높아가고 있는 실정이다. 또한 높은 제어성에 의해 앞으로 유도전동기의 가변속장치는 VVVF가 주류를 이룰 것이 확실하다.

이미 앞에서 설명한 바와 같이 VVVF가 유도전동기의 가변속 구동원으로서 각광을 받고 있는 이유를 요약해 보면

① 범용 모터를 그대로 사용할 수 있다. 현재 사용하고 있는 모터를 바꿀 필요없이 그대로 사용하므로써 구조가 간단하며 저렴하다.

- 특수환경에서의 적용이 용이하다.
- 유지, 보수가 용이하다.
- 크기가 작고 경량이다.
- 구입하기가 쉽다.

② 효율이 높다.

표 5.3 일반 모터 속도제어장치의 장단점 비교

| 구 분      | 직류 레오나드방식   | VS MOTOR   | VVVF   |
|----------|---|--|--|
| 성 능      | 가장 제어성이 우수하여 고급, 고정도용으로 사용된다.   | 표준기종으로 생산되고 있고 특수용도와 대용량에서는 Soft기술의 문제로 가격이 비싸다. 또한 효율이 낮고, 소용량에서만 사용된다. | 가장 최근에 개발 실용화된 제품으로서 교류 모터 구동원으로는 가장 효율이 높고, 제어성이 뛰어나므로 앞으로는 직류 모터의 영역까지 확대되어 가고 있다. |
| 에너지 절약효과 | 원리적으로 가장 높은 효율을 가지므로 에너지절약 효과가 높으나 장치 자체의 가격이 비싸므로 투자시에는 이에 대해 종합적인 검토가 필요하다. | 효율이 낮아서 에너지절약 면에서는 극히 불리   | 고효율 운전을 할 수 있어 에너지절약효과가 높고 특히 제곱저감 토크 부하에 적용하면 효과가 좋다.                               |
| 보수유지     | 브러쉬 등의 보수가 어려워 가장 난점으로 지목되고 있다.   | 비교적 유지, 보수가 쉬우나 분해를 할 때는 일반유도전동기의 구조와는 달라 주의를 요한다.                       | 교류 모터를 그대로 사용하므로 유지보수면에서 가장 유리하다. 또한 인버터자체도 HIC의 채용으로 인한 고신뢰성에 의해 거의 무보수화되고 있다.      |
| 가 격      | 직류기 자체의 가격도 비싸고, 레오나드장치 또한 현재로서는 고가이다.  | 주로 소형에만 적용되며 가격적으로는 유리하다.  | 현재로서는 가격이나 점차 전자부품가격의 저렴화 추세로 점차 안정되고 있다.  |

| 구분 | 직류 레오나드 방식   | VS MOTOR                                   | VVVF   |
|----|--|--|--|
| 기타 | 현재로선 서어보기능에서 독주하고 있으며 앞으로는 소형화, 고압화에 주력 제품이 될 것이다. | 기중, 용용기술 등이 한정되어 있고 앞으로는 소용량에서만 한정사용될 것이다. | 향후 교류 모터 제어의 주류를 이룰 것이며 높은 제어성과 에너지 절약면에서 가장 기대되고 있는 방식이다. |

에너지 절약효과가 높으므로 전기요금을 절감할 수 있다.

③ 자동화에 적합

원격조작, 복수 모터의 병렬운전, 비올제어, 동기제어 등 각종 자동제어가 용이하다. 50/60(Hz)에서 기어비를 바꿀 필요가 없다.

④ 고속운전이 가능

제어주파수를 상용주파수 이상으로 할 수 있어 동기속도 이상의 고속운전이 가능

⑤ 장래성이 있다.

전력 전자기술의 혁신에 의해 금후 가격, 성능, 크기 등 모든 면에서 개선의 여지가 있다.

(1) 속도제어에 의한 전력절감 실험

1,000(kW)송풍기의 풍량을 조절함에 있어 각 제어방식에 따른 전력절감액을 계산해 보기로 한다.

지금 연간 운전시간이 8,000시간인데 그중 100(%), 75(%), 50(%) 부하가 각1/3 기간씩 걸렸다고 보자. 그리고 전력요금을 40(원/kWh)라고 하자.

저항토퍼의 경우 소요전력은

$$1,000(kW) \times (1.06 \times 0.33 \times 0.97 \times 0.33 + 0.84 \times 0.33) \times 8,000h = 7.66 \times 10^6(kWh)$$

입구토퍼제어의 경우 소요전력은

$$1,000(kW) \times (1.06 \times 0.33 + 0.71 \times 0.33 + 0.59 \times 0.33) \times 8,000h = 6.29 \times 10^6(kWh)$$

2차 저항제어의 경우(슬립손실발생의 경우)의 소요전력은

$$1,000(kW) \times (1.06 \times 0.33 + 0.59 \times 0.33 + 0.29 \times 0.33) \times 8,000h = 5.18 \times 10^6(kWh)$$

고효율 운전의 경우 소요전력은

$$1,000(kW) \times (0.18 \times 0.33 + 0.47 \times 0.33 + 0.15 \times$$

$$0.33) \times 8,000h = 4.54 \times 10^6(kWh)$$

이것을 전기요금으로 비교하여 보면 표 5.4과 같다.

위의 계산 결과에 의하면 80(%) 이하에서 운전하는 시간이 긴 경우에는 회전시 변환장치는 1, 2년에 회수됨을 알 수가 있다.

또 아주 극히 저풍량의 경우만 이 방식에 의한 제어에 의하여 경제성을 높이는 방식으로, 용량이 적은 VVVF를 사용하여 저풍량일 때만 사용케하여 설비투자를 적게하는 방법도 고려할 수 있다.

(2) 회전수 제어로 할때 고려해야할 점

종래 일정속도로 운전하던 것을 회전수 제어 운전 방식으로 바꿀 경우에는 다음 사항들을 검토해야 한다.

① 원심용력의 반복에 따른 피로증가문제

회전수 변경에 따라 원심용력이 빈번히 변하므로 그 빈도와 변화폭에 따른 기계의 피로 파괴 가능성에 대한 검토를 사전에 해야한다.

② 온도상승문제

전동기가 저속도에서는 냉각효과가 저하되므로 주의를 요한다. 그러나 제곱 토크 부하의 경우에는 냉각효과 이상으로 손실이 저하되므로 별 문제는 없을 것이나 각 속도에 따른 냉각 효과의 감축으로 인한 온도상승 문제를 검토해야 한다.

③ 사이리스터 전원사용시의 맥동의 영향

이 경우 반복맥동토크가 발생하므로 이에 의한 기계의 비틀림 진동에 대해서 검토를 해야한다.

④ 전원 고주파의 영향

사이리스터에서 유출되는 고주파가 타기기에 의 이상유입, 유도장해, 전원과의 병렬공진에 의한 이상전압 발생등을 검토해야 한다.

표 5.4 각종 방식에 따른 전력비 대비율

| 제어방식    | 저항토퍼제어                   | 입구토퍼제어                   | 슬립발생 방식에 의한 회전수 제어       | 고효율운전방식에 의한 회전수 제어       |
|---------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 연간소요전력량 | 7.66×10 <sup>6</sup> kWh | 6.29×10 <sup>6</sup> kWh | 5.18×10 <sup>6</sup> kWh | 4.54×10 <sup>6</sup> kWh |
| 연간전기요금  | 30,640만원                 | 25,160만원                 | 20,760만원                 | 18,160만원                 |
| 전력요금차   | +12,480만원                | +7,000만원                 | +2,560만원                 | 0                        |

#### 5.4 전동기 설비의 에너지 절약 요령

(1) 부하특성, 용도에 알맞고 또한 적절한 용량의 것을 선정한다.

(2) 3.7~5.5[kW]이상의 전동기에는 기동장치를 설치하는 것이 바람직하다.

(3) 속도제어방식은 운전방식, 부하의 종류, 사용장소, 제어의 목적과 필요한 성능등에 의하여 효율이 좋은 것을 선정한다.

(4) 속도제어를 위하여 유도전동기에는 VVVF 방식을 채택하는 것이 바람직하다.

(5) 전동력의 분배방식은 중소규모의 설비에서는 개별방식, 대규모의 설비에서는 복식 개별방식이 적당하다.

(6) 전동기로부터 부하에의 전달방식은 복잡한 것은 손실이 많고 단순한 것일수록 효율이 좋다.

(7) 경부하, 공회전을 방지하기 위하여 정기적으로 전류측정을 하고, 스위치와 전류계를 설치한다.

(8) 전동기의 공회전을 피하고 단속운전부하의 단속시간을 연장하도록 계획한다.

(9) 무부하 운전시간이 많은 경우에는 전력의 위상을 제어하는 설비를 갖추어 전력절감을 기한다.

(10) 전동기에는 절전장치(MELC)를 설치한다.

(11) 직류전동기의 직류전원 공급은 종래의 회전 전동 발전기(M-GSET) 대신 손실이 적은 정지 사이리스터를 사용한다.

(12) 전동기설비에는 사용유무에 관계없이 항상 커패시터가 연결되어 있으나 전동기설비 기동시에만 커패시터가 연결되도록 시스템을 구성한다.

(13) 작업에 지장이 없는 경우, 대용량 전동기 가동시간을 주간에서 야간으로 사용시간대 이동으로 염가의 심야전력을 이용하도록 한다.

(14) 전동기에는 부하의 크기에 따라 대수 제어 운전을 권장한다.