

특집 : 전기설비의 효율적관리

## 전동력설비의 설계와 관리

宋彦彬 (大林專門大, 當學會 理事)

### 1. 머리말

전동력 설비는 산업분야에서는 각종 설비의 구동용으로 핵심설비가 되고 있으며, 건물에서도 공기조화용 팬 및 펌프의 구동, 승강기의 구동, 위생설비용 펌프의 구동 등 각종 동력용으로 널리 이용되고 있다. 일반적으로 동력용으로 사용되는 것은 유도전동기가 대부분을 차지하고 있으며, 전기에너지 소비측면에서도 전체 에너지 소비의 약 60~70%이상으로 산업발전예 따라 계속 증가하는 추세이다.

전동력설비를 보다 효과적으로 운영하기 위해서는 설계단계에서부터 사전검토가 충분히 이루어져야 하고, 에너지 절약적 관점에서 적절한 부하율, 전압, 용량등이 분석되어야 할 것이다. 필요한 경우 인버터(Inverter)를 부설하여 보다 에너지절약적이고 효율적인 운전이 되도록 하여야 할 것이다. 또한, 전동력 설비는 정기적인 점검과 관리를 체계적으로 실시하여야 효율좋은 운전을 기대할 수 있다.

본 고에서는 전동력설비를 보다 효율적으로 운영할 수 있도록 설계단계에서 검토하여야 사항과 가변속 구동시 전동기와 함께 시설하여야 할 인버터의 시설요점 및 전동력 설비의 관리에 필요한 사항들을 제시하고자 한다.

### 2. 전동력 설비의 설계요점

#### 2.1 공급전압과 부하 분석

일반적으로 건물에서는 냉동기용 전원전압은 3상3선식 3,300[V], 펌프 및 팬용 전원전압은 3상3선식 380[V], 승강기용 전원전압은 3상3선식 380[V], 주방동력용 전원전압은 3상3선식 220[V]를 채택하고 있다. 냉동기를 제외한 전동력 설비의 전원전압은 3상 220[V] 또는 3상 380[V]로 설계되고 있는데, 에너지 절약적인 측면에서는 3상 220[V]보다 3상 380[V]가 유리하다고 할 수 있다. 일반적으로 37[kW]급 이상의 용량은 고압 3[kV]전동기가 유리하며, 효율도 저압 전동기보다 향상된다.

사무소건물의 전동력 설비의 수요율은 냉방동력의 경우 약 85~100%, 위생동력의 경우 약 60~70%로 설계시 채택되고 있으나 부하용량에 따라 조정하여 선정함이 좋을 것이다. 표 2.1은 동력설비의 수요율을 나타낸 것이다.

동력설비의 부하밀도는 표 2.2와 같이 일반적으로 일반동력 및 냉방동력은 37 [VA/m<sup>2</sup>], 냉동기용은 38 [VA/m<sup>2</sup>]를 채택하고 있다.

#### 2.2 출력과 용량 분석

전동기의 부하가 경부하로 되면 특히 효율이 저하하게 되는데, 75% 부하 정도까지는 큰 차이가 없지만 이 이하가 되면 효율이 급격히 저하한다. 일반적으로 전동기의 출력은 부하의 소요출력에 10~15% 여유를 주도록 함이 좋다. 표 2.3은 전동력설비의 용량산정표를 나타낸 것이다. 냉동기, 수중펌프, 냉각탑용 팬에 사용되는 전동기는 제시된 부하용량보다 약 20%정도 큰 값을 선정함이 바람직하다.

일반적으로 전동력 설비는 대체적으로 약 80~100% 부하로 운전되도록 설계하고, 전부하에 가까운 제어방식을 선정함이 바람직하다.

전동기 효율은  $\frac{\text{전동기 출력}}{\text{전동기 입력}}$  으로 표시되며, 전동기 용량과 부하율에 따라 달라진다. 22[kW]급 이상의 전동기 효율은 부하율 50% 이상의 경우 90% 이상이 된다. 3.7[kW]급의 경우 부하율 50% 이하에서는 효율이 급격히 저하하며, 부하율 50% 이상에서는 효율이 대략 85% 정도이다. 효율은 대체적으로 용량이 작을수록 부하율이 50% 이하일 경우 급격하게 감소한다.

전동기 역률은  $\frac{\text{전동기 입력}}{\text{전동기 피상전력}}$  으로 표시되며, 역률이 낮으면 손실 및 전압강하의 증대를 가져온다. 전동기용량이 10[kW] 이상이면 역률은

표 21 동력설비의 수요율

구 분	전설공업 (일본)	빌딩 특고 수배전 설비의 계획과 설계(일본)	전기설비 계획 보고서 (한국)
냉방동력	85~100%	56.3~89.2%	85~100%
위생동력	30~35%	41~53.8%	60~70%
승강기동력	55~82% (6대기준)	-	-

표 22 동력설비의 부하밀도

구 분	전설공업 (일본)	빌딩 특고 수배전 설비의 계획과 설계(일본)	전기설비 계획 보고서 (한국)
일반동력 및 냉방동력	37~39[VA/m <sup>2</sup> ]	37[VA/m <sup>2</sup> ]	37[VA/m <sup>2</sup> ]
냉동기용	38~39[VA/m <sup>2</sup> ]	38[VA/m <sup>2</sup> ]	38[VA/m <sup>2</sup> ]

대략 85% 이상이 된다.

일반적으로 전동기의 직정용량은 최대부하 전류와 정격전류의 비가 60~70% 정도가 바람직하다. 전동기의 취부대수가 많아지면 수요율이 적어지는데, 전동기수와 수요율 사이에는 표 2.4와 같은 관계가 있다.

### 3. 인버터 부설 요점

#### 3.1 인버터 이용 전동기 제어

인버터를 이용하여 전동기에 입력되는 전원전압의 크기와 전원 주파수의 크기를 부하의 상태에 따라 변화시켜 전동기를 가변속 운전하면, 운전 능력을 향상시키면서 에너지절약도 동시에 가능하게 된다.

표 23 전동력설비의 용량산정

구 분	전 동 기 입 력 용 량	
저압전동기	30kW 이하	<ul style="list-style-type: none"> <li>제어반내에 진상 콘덴서가 있는 경우 입력 kVA = 출력 kW × 1.25</li> <li>제어반내에 진상 콘덴서가 없는 경우 입력 kVA = 출력 kW × 1.4</li> </ul>
	30kW 넘는것	<ul style="list-style-type: none"> <li>제어반내에 진상 콘덴서가 있는 경우 입력 kVA = 출력 kW × 1.18</li> <li>제어반내에 진상콘덴서가 없는 경우 입력 kVA = 출력 kW × 1.25</li> </ul>
고 압 전 동 기	<ul style="list-style-type: none"> <li>입력 kVA = 출력 kW × 1.18</li> <li>· 승강기용(교류계환 및 사이리스터 레오나드 방식) 입력 kVA = 권상전동기출력 × 1.8</li> <li>· 승강기용(M-G 방식) 입력 kVA = 권상전동기출력 × 2.3</li> <li>· 승강기용(인버터 방식) 입력 kVA = 전동기출력 × 1.4</li> </ul>	

표 24 전동기의 수와 수요율

전동기의 대수	수 용 율 (%)
75~100	40
30~50	50
20~30	60
10~15	70

유도 전동기의 회전수(N)는  $N = \frac{120f}{P}(1 - S)$ 의 관계에 있다. 여기서, f는 공급전원의 주파수이며, P는 전동기의 극수이고, S는 전동기의 슬립이다. 전동기의 극수를 변화시키려면 고정자 권선의 접속방법을 바꾸어야 한다. 이 방법은 제어기가 간단한 장점은 있으나, 불연속적인 2~3단계의 속도변화 만을 얻을 수 있는 단점이 있다. 슬립을 변화시키는 방법은 1차전압제어, 2차여자제어, 2차저항제어가 있는데, 1차 전압제어의 경우 장치취급이 용이하나, 저속시 효율이 나쁜 단점이 있다. 2차저항제어도 단계적인 속도변화만 가능하고, 슬립링 등 부속장치의 보수가 필요하다. 주파수를 변화시키는 방안이 가장 경제성이 높고 운전효율도 높아, 이용이 계속 증가되고 있다. 인버터를 이용하여 전원 주파수와 전원전압의 비율(V/F 비율)을 일정하게 유지하면서 전동기의 속도제어를 행하게 되면, 토크를 일정하게 유지하면서 전동기의 속도제어가 가능하게 된다.

인버터를 설치하여 유도 전동기의 회전수를 제어하는 것은 다음과 같은 장점이 있다.

(1) 이미 시설된 전동기를 간단하게 제어할 수 있다.

전동기 운전회로에 인버터를 추가하면 배선공사도 간단하고, 추가 설치에 따른 기초변경과 같은 공정이 필요없다.

(2) 광범위하고 효율좋은 가변속 운전이 가능하다.

전동기에 공급하는 주파수를 변화시켜 가변속 운전하게 되면, 넓은 범위에서 연속적으로 전동기의 속도제어가 가능하다.

(3) 전원측 역률이 양호하므로 전동기 기동시 전원용량이 작아도 된다.

인버터는 교류(일정주파수) → 직류 → 교류(가변주파수)로 변환하기 때문에 입력역률은 전동기 역률에 관계없이 대체로 일정하다. 일반적으로 인버터에는 3상 전파 정류기가 많이 사용되므로, 입력 역률은 약 94% 정도로 되며 콘덴서 영향 때문에 약간 저하한다. 인버터 없이 전동기를 기동하면 기동시 정격전류의 5~6배의 기동전류가 흐른다. 그러나, 인버터에 의한 운전은 주파수를

수 Hz로 낮추어 기동하기 때문에 인버터의 입력 전원용량이 작아도 된다.

일반적으로 입력전원용량은 전동기 출력용량의 1.5배 이하는 좋다.

(4) 높은 빈도의 운전 및 정역 절환운전이 가능하다.

상용 전원에 의하여 전동기를 기동하는 경우, 기동시 커다란 전류가 흘러 기동시간에 비례한 손실이 발생하기 때문에 높은 빈도로 운전 및 정지를 할 수 없다. 그러나, 인버터로 저주파수 영역에서 기동하고, 원활하게 가속 및 감속할 수 있다. 인버터로 주파수를 조정하여 저주파수 영역에서 상회전 절환을 할 수 있어, 정역 절환 운전이 용이하다. 전동기를 감속하는 경우에는 전동기의 회전수에 따라 인버터의 주파수를 낮추어 회생제동도 가능하여 효율적인 에너지 절약 운전이 가능하다.

(5) 나쁜 환경에도 사용할 수 있다.

전동기와 인버터를 조합하는 경우, 전동기와 인버터를 분리하여 설치할 수 있기 때문에 환경이 나쁜 장소에 설치된 전동기도 속도제어를 원하는 대로 수행할 수 있다. 방폭이나 방식이 요구되는 환경에는 전동기만 전용 전동기로 하고 인버터는 일반용으로 하여 통상의 전기실에 설치하면 된다.

인버터는 여러대의 전동기라도 한대로 일괄하여 제어할 수 있으며, 출력 주파수와 전압을 변화시켜 간단히 정토키, 정출력 특성을 얻을 수 있다.

### 3.2 인버터의 성능규격

#### (1) 인버터의 규격 분석

인버터를 시설하는데는 우선 적용 전동기의 출력을 결정하여야 한다.

전동기 출력(kW)은  $\frac{NT}{0.73}$ 로 산출하는데, N은 전동기의 회전수(r.p.m), T는 전동기의 토크(kg · m)이다. 인버터의 정격용량(kVA)은  $\frac{P}{\eta \cdot \cos\phi}$ 로 산출하며,  $\eta$ 는 전동기 효율이고 약 0.85정도이며,  $\cos\phi$ 는 전동기 역률로 약 0.75로 한다. 용량 산정시 여유율은 1.1~1.2정도로 하고 있다.

표 2.5 부적당한 인버터에 의한 문제점

상 황		문 제 점
연속운전 출력부족	부하용량 과대	인버터의 과부하, 과부하 보호 릴레이 동작
	최대 적용 전동기를 초과하여 적용	전류 리플과대, 순시 과전류, 과전류 계전기 동작
기동 토크 부족	부하토크 과대, GD <sup>2</sup> 과대, 가속시간이 너무 적음	전동기 탈조, 인버터 과부하, 과부하 보호 릴레이 동작, 순시 과전류, 과전류 보호 릴레이 동작
운전 패턴 변경시에 일시적인 출력부족		전동기 탈조, 인버터 과부하, 과부하 보호 릴레이 동작, 순시 과전류, 과전류 계전기 동작
전원전압저하, 선로전압강하에 의한 단자전압 저하,		전동기 탈조, 인버터 과부하, 보호 릴레이 동작
주위온도 과대		과열 보호 릴레이 동작
입력전압 불평형		전원측 MCB트립, AC퓨우즈 용단, 주회로 다이오드 과열
단상 입력		주회로 다이오드 과열, 주회로 콘덴서 과열

정격전류는 인버터가 연속적으로 출력 가능한 출력전류값으로 적용 전동기의 정격전류값과 대체로 같고, 사용하는 스위칭 소자의 전류용량에 따라 제한을 받는다. 과부하내량은 인버터측에서 출력가능한 출력전류값의 정격 전류값에 대한 비이며, 스위칭 소자의 열적 특성에 따라 달라진다. 전동기의 과부하 보호는 일반적으로 동작시간에 상반하는 반환시 특성이 된다. 공조용 팬이나 펌프의 가변속 운전은 부하가 2승 토크 특성이므로 저속운전의 경우에는 경부하가 되기 때문에 일반용 전동기로 사용 가능하는 저속운전을 장시간 계속하면 전동기의 온도상승으로 과열, 소손 되는 경우가 있으므로 주의를 요한다.

입력전압, 주파수 허용범위, 출력전압 및 출력 주파수, 출력전압과 출력주파수의 비율(V/F 비), 가속시간 및 감속시간, 인버터의 부대기능을 검토하여야 한다.

(2) 인버터 효율적 운전

인버터의 출력용량은 연속 정격 출력용량, 최대 적용 전동기, 단시간 과부하 내량을 검토하여야 한다. 통상 일반용 인버터의 출력용량은 주위 온도 40~45°C로 100% 연속 출력용량을(kVA) 단위로 표시하고 있다. 부적당한 인버터 채택으로 발생 가능한 문제점들은 표 2.5와 같다.

인버터의 입력전압은 ±10%, 입력주파수는 ±5%가 일반적이다. 과부하 내량은 전동기의 기동

및 가속시에 문제가 된다. 기동 토크와 가속 토크는 그 내량에 의하여 제한을 받기 때문에 부하전류가 과부하내량을 초과하면 과전류 차단 보호장치가 동작하여 인버터를 정지시킨다.

전동기를 저속운전영역에서 계속 운전하면 전동기의 냉각효과가 감소하므로 온도가 상승하며 출력과형에 고조파를 함유하고 있기 때문에 이 고조파 손실에 대비하여 인버터의 제어범위를 조정하여야 한다.

과부하 개선책은 인버터측과 전동기측으로 나누어 대책을 마련할 수 있다. 표 2.6은 과부하 개선책을 나타낸 것이다.

4. 전동력 설비의 설치와 운전

4.1 전동력설비의 설치

전동기의 설치위치는 집단운전의 경우는 부하 중심에 두어야 한다. 방습, 방진형의 전동기라도 습기, 먼지등이 적은 곳을 선정하여야 하고, 통풍이 좋은 장소를 선택하여야 한다.

설치공사는 5마력이하는 보위에 취부하고, 20마력 까지는 보를 보강할 경우 보위에 취부한다. 20마력 이상은 콘크리트나 철골로 된 설치대를 시설하고 30마력이상은 전동기실을 만들어 설치하여야 한다.

전기공사에 있어 개폐기는 적정용량의 것을 잘

표 26 과부하 개선책

상 황	전동기측 대책	인버터측 대책	비 고
배선에서 전압강하가 큰 입력측에서 출력측으로 교류 리액터가 있는 경우	전동기 단자전압을 높인다.	출력 V/F를 높임 전원전압을 높임 케이블 사이즈를 크게 함	PWM방식에서 100%주파수에도 수% 전압상승이 나타나는 경우가 있다. 무부하시 주의
전원용량이 작으면서 전압저하가 큰 경우		전원전압을 높임 전원용량을 높임	전원 고조파 고려하여 용량선정
출력저하에 대한 여유가 있는 경우	전동기 출력을 저하시킴	정도가 좋은 속도 제어기로 변동을 억제함.	
단시간 과부하 보호가 불필요한 경우		150%, 60초 과부하 보호를 110~120% 연속 정격으로 변경	인버터 제작사의 성능규격 검토

설치하고, 개폐기 위치는 취급이 편리하게 하여야 한다. 퓨즈 용량은 적절한 것을 선정하고, 전동기 단자접속을 철저히 하여야 한다. 과부하 및 단상운전을 방지하기 위한 소손방지 장치를 취부하여야 한다.

습기가 많은 곳에는 전밀폐형으로 하고, 고온인 곳에는 양질의 절연물을 써서 충분한 냉각방법을 채택하고, 저온인 곳에서는 축반이부에 저온용의 기름 및 그리스를 사용하여야 한다. 기압이 낮으면 도전부에 코로나, 브러시에 불꽃이 발생할 수 있으므로 이에 대한 안전한 형식을 채택하고, 폭발성 가스가 발생하는 곳에서는 방폭형 전동기를 사용하여야 한다.

전동기의 온도상승은 전선의 절연성으로 한정되나 구조에 따라 다르다. 케이스의 외부온도(A종일때)는 60℃정도로, 외부에 5초정도 손을 대고 있을 수 있으면 약 60℃정도이다. 온도가 높다고 판단하였을 때는 권선의 온도를 측정하여야 하고, 전동기의 온도상승특성을 조사하여 둘 필요가 있다.

#### 4.2 전동기의 운전

전동기에는 철손, 기계손 등 고정손실이 있으므로 출력이 없어도 손실이 발생한다. 부하를 조정하여 전부하 운전시간을 많게 하고 공전시간 및 경부하 시간을 적게 하여야 한다. 공전시간을 단축하기 위하여 전동기를 기동, 정지하는 경우, 그 빈도수가 전동기에 이상이 없어야 한다.

회전자가 알루미늄인 경우는 별 문제가 없으나, 회전도체에 동봉을 사용하고 있는 100~200(kW)정도의 농형 유도 전동기는 가령 1일 20회 정도의 기동을 계속하면 2~3년에 동봉이 파괴될 수 있으므로 주의를 요한다.

전동기의 각상 전압은 평형을 유지하도록 하여야 한다. 개폐기의 접촉불량, 퓨즈의 1차 단선, 1차 권선의 단선등으로 전압 불평형이 되면, 전동기 출력이 감소되고 온도상승이 되어 전동기 소손의 원인이 될 수 있다. 전동기의 공극은 균일하게 유지하여야 한다. 베어링의 마모가 심하면 고정자와 회전자가 마찰하여 소손될 수 있으므로 2개월에 1회 정도로 갭 게이지 검사가 필요하다.

축반이 기름이 과다 또는 베어링이 너무 마모되었을 때 주유한 것이 내부에 침투되어 권선에 부착하여 절연이 저하되어 소손이 발생할 수 있으므로 주의를 요한다.

전동기 기동전에는 반드시 개폐기류를 점검하고, Y-△기동기, 1차 저항 기동기, 2차 저항 기동기, 리액터 기동기 등 기동장치가 정상이고, 또 기동 인터록이 확실한지 파악하여야 한다. 안전 및 보호장치가 있는 것은 그 동작을 확인하여 두고, 전동기의 온도상승, 진동, 이상음 등을 주의하고, 1년에 한번씩 정기적인 청소를 실시하여야 한다.

베어링의 윗면의 온도는 주위온도 35℃에서 75℃~85℃이하여야 하고, 베어링의 주유는 1년

에 1~2회, 기름교환은 2~3년에 1회 정도가 적합하나 기종별로 따로 주기가 정해져 있는 것도 있다.

전동기의 절연저항의 측정은 운전정지 직후 실시하는 것이 원칙이며, 절연저항의 측정은 임시 측정의에 정기적으로 년 1회이상 실시하여야 한다.

## 5. 맺음말

건물의 대규모화, 고층화에 따라 동력설비의 규모도 증대되고 있으며, 다양한 제어기능이 요구됨에 따라 전동기, 인버터, 각종 감시제어 장치 등이 결합한 시스템화가 이루어지고 있다. 전동력설비를 보다 효율적으로 운영하려면, 설계단계에서 적절한 용량, 적절한 기종으로 부하특성에 알맞게 시설되고 관리되어야 한다.

전동력설비의 설계단계에서 부하밀도와 수요

율을 합리적으로 채택하여야 한다. 전동기의 효율적인 운전을 위하여 인버터를 부설하는 것은 에너지절약도 동시에 이룰 수 있기 때문에 초기 투자비용이 들지만 운전비용측면에서는 경제성이 매우 높다. 공기조화시스템용 전동기들은 인버터를 부설하여 가변속 구동 시스템을 구성하는 것이 공조 시스템의 운전성능과 공조제어 효과를 매우 우수하게 만들어준다.

전동기, 인버터, 감시제어장치등 복합적인 요소 부분으로 구성된 동력설비 시스템은 부하특성에 알맞게 효율적으로 운용하려면, 적절한 설계가 이루어지고, 철저한 설치와 각 요소 부분별로 철저한 유지관리가 이루어져야 할 것이다. 최근에는 유지관리를 보다 효율적으로 시행하기 위하여 시스템 구성의 각 부분의 상태를 자동 감시하는 진단기법, 내구수명 평가기법등이 다양하게 검토되고 있다.

## ◇ 著者紹介 ◇



송 언 빈(宋言彬)

1953年 4月 23日生. 1977年 釜山大工大 電氣工學科 卒. 1984年 釜山大大学院 電氣工學科(碩士). 1993年 中央大 大学院 電氣工學科(博士).

韓國建設技術研究院 研究室長 現在. 大林專門大 電氣工學科 當學會 編修理事.