

# 전동력 설비의 효율적인 운용

글/송 언 민(공학박사, 대림전문대 전기과 교수)

## 1. 머리말

전동력 설비는 산업분야에서는 각종 설비의 구동용으로 핵심설비가 되고 있으며, 건축물에서도 공조용 팬이나 급수 및 위생용 펌프의 구동, 승강기의 구동, 펌프의 구동 등 각종 동력용으로 널리 이용되고 있다. 일반적으로 동력용으로 사용되는 것은 유도전동기가 대부분을 차지하고 있으며, 전기에너지 소비측면에서도 전체 에너지소비의 약 60~70% 이상으로 산업발전에 따라 계속 증가하는 추세에 있다.

전동력 설비를 보다 효과적으로 운영하기 위해서는 설계단계에서 사전 계획을 충분히 해야 하고, 에너지 절약적 관점에서 적절한 부하율, 전압, 용량 등이 고려되어야 할 것이다. 전동기 가변속 구동시에는 인버터(Inverter)를 부설하면 에너지절약은 물론 효율적 운전이 가능하게 된다. 또한 전동력 설비는 정기적인 점검과 관리를 체계적으로 실시해야 효율 좋은 운전을 기대할 수 있다.

본고에서는 전동력 설비를 보다 효율적으로 운

영할 수 있도록 설계단계에서 검토해야 할 사항, 전동기의 설치와 운전관리 요점, 인버터의 시설시 검토사항을 알아 보고자 한다.

## 2. 전동력 설비의 설계요점

### 2.1 공급전압과 부하분석

일반적으로 건물에서는 냉동기용 전원 전압은 3상 3선식 3,300V, 펌프 및 팬용 전원 전압은 380V, 승강기용 전원 전압은 380V, 주방 동력용 전원 전압은 220V를 채택하고 있다. 냉동기용 전원을 제외한 전동력 설비의 전원 전압은 3상 220V 또는 3상 380V로 설계하고 있는데, 에너지 절약적 측면에서는 3상 220V보다 3상 380V가 유리하다고 할 수 있다. 일반적으로 37kW급 이상의 용량은 고압 3kV 전동기가 유리하며, 효율도 저압 전동기보다 향상된다.

사무소 건물의 전동력 설비의 수요율은 냉방동력의 경우 약 85~100%, 위생동력의 경우 약 60~70%로 설계시 채택되고 있으나 부하용량에 따라 조정하여 선정함이 좋을 것이다. 표 1은 동력설비의 수요율을 조사한 것이다. 표 2는 부하밀도를 나타낸 것이며, 일반적으로 일반동력 및 냉방동력은 37(VA/m<sup>2</sup>), 냉동기용은 38(VA/m<sup>2</sup>)를 채택하고 있다.

<표 1> 동력설비의 수요율

구 분	전설공업 (일본)	빌딩 특고 수배 전설비의 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)	—	—

## 기술정보...

〈표 2〉 동력설비의 부하밀도(단위 : VA/m<sup>2</sup>)

구 분	전설공업 (일본)	빌딩 특고 수배 전설비의 계획과 설계(일본)	전기설비 계획 보고서(한국)
일반동력 및 위생동력	37~39	37	37
냉동기용	38~39	38	38

### 2.2 출력과 용량 분석

전동기 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% 정도의 여유를 주는 것이 좋다. 표 3은 전동기의 부하용량 산정표를 나타낸 것이다. 냉동기, 수증펌프, 냉각탑용 팬에 사용되는 전동기는 제시된 부하용량보다 약 20% 정도 큰 값을 선정함이 좋다. 일반적으로 전동력 설비는 대체적으로 약 80~100% 부하로 운전되도록 설계하고, 전부하에 가까운 제어방식을 선정함이 바람직하다.

전동기의 효율은 전동기 용량과 부하율에 따라 달라진다. 22kW급 이상의 전동기 효율은 부하율 50% 이상의 경우 90% 이상이 된다. 3.7kW급의 경우 부하율 50% 이하에서는 효율이 급격히 저하하며, 부하율 50% 이상에서는 효율이 대략 85% 정도이다. 효율은 대체적으로 용량이 작을수록 부하율이 50% 이하일 경우 급격히 감소한다.

전동기 역률은 전동기 입력÷전동기의 피상전력으로 계산하며, 역률이 낮으면 손실 및 전압강하의 증대를 가져온다. 전동기 용량이 10kW 이상이면 역률은 대략 85% 이상이 된다. 일반적으로 전동기의 적정용량은 최대부하 전류와 정격전류의 비가 60~70% 정도가 바람직하다. 전동기의 설치

〈표 4〉 전동기 대수와 수요율

전동기 대수	수요율(%)
75~100	40
30~50	50
20~30	60
10~15	70

〈표 3〉 전동기의 부하용량 산정

구 분	전동기의 입력 용량	
저 압 전동기	30kW 이하	<ul style="list-style-type: none"> <li>제어반내에 진상콘덴서가 있는 경우 입력 kVA=출력 kW×1.25</li> <li>제어반내에 진상콘덴서가 없는 경우 입력 kVA=출력 kW×1.4</li> </ul>
	30kW 넘는 것	<ul style="list-style-type: none"> <li>제어반내에 진상콘덴서가 있는 경우 입력 kVA=출력 kW×1.18</li> <li>제어반내에 진상콘덴서가 없는 경우 입력 kVA=출력 kW×1.25</li> </ul>
고압 전동기	<ul style="list-style-type: none"> <li>일반적인 경우 입력 kVA=출력 kW×1.18</li> <li>승강기용(교류케플러 및 사이리스터 레오나드 방식) 입력 kVA=권상전동기 출력 kW×1.8</li> <li>승강기용(M-G 방식) 입력 kVA=권상전동기 출력 kW×2.3</li> <li>승강기용(인버터 방식) 입력 kVA=전동기 출력 kW×1.1</li> </ul>	

대수가 많아지면 수요율이 적어지는데 전동기 대수와 수요율과의 관계는 표 4와 같다.

## 3. 전동기의 설치와 운전 관리

### 3.1 전동기의 설치

전동기의 설치위치는 집단운전의 경우 부하중심점에 두어야 한다. 방습, 방진형의 전동기라도 습기, 먼지 등이 적은 곳을 선정해야 하고, 통풍이 좋은 장소를 선정해야 한다. 설치공사는 5마력 이하는 보 위에 설치하고, 20마력까지는 보를 보강할 경우 보 위에 설치한다. 20마력 이상은 콘크리트나 철골로 된 설치대를 시설하고 30마력 이상은 전동기실을 만들어 설치해야 한다.

전기공사시 개폐기는 적정용량의 것을 잘 설치하고 개폐기의 위치는 취급이 편리해야 한다. 퓨즈용량은 적정한 것을 선정하고, 전동기의 단자접속을 철저히 해야 한다. 과부하 및 단상운전을 방지하기 위한 소손방지장치를 설치해야 한다. 습기가 많은 곳에는 전밀폐형으로 하고, 고온인 곳에는 양질의 절연물을 써서 충분한 냉각방법을 채택하고, 저온인 곳에서는 축반이부에 저온용의 윤활

<표 5> 전동기의 고장과 대책

고 장	원 인	대 책
기동불능 또는 기동 곤란	퓨즈가 끊어진다	퓨즈의 용량을 조사한다
	기동 토크가 모자란다	전동기의 기동방식을 바꾸거나 용량을 늘린다
	전압이 너무 낮다	전원전압을 확인하여 조정한다
	회로가 열리거나 접속이 불완전하다	퓨즈, 과부하 릴레이, 기동기, 푸시 버튼 조사
	고정자 코일 또는 회전자 코일이 단선된다	고정자 코일의 접속, 로터 바와 엔드링이 갈라져 있지 않나 조사한다
전동기 과열	과부하	부하를 줄인다
	통풍이 잘 안된다	풍도를 청소한다
	3상 전동기로 1상이 열려 있거나 접속이 불완전하다	접속이 완전한가 조사한다
	고정자 코일이 중간에 단락된다	수리한다
	전압이 불평형	변압기 및 회로를 조사한다
	코일이 접지된다	변압기의 회로를 조사한다
	전압이 너무 높거나 낮다	전원전압을 조정한다

유를 사용해야 한다. 기압이 낮으면 도전부에 코로나, 브러시에 불꽃이 발생할 수 있으므로 이에 대한 안전한 형식을 채택하고, 폭발성 가스가 발생하는 곳에서는 방폭형 전동기를 사용해야 한다.

전동기의 온도상승은 전선의 절연성으로 한정되거나 구조에 따라 다르다. 케이스의 외부온도(A종일 경우)는 60℃ 정도로, 외부에서 5초 정도 손을 대고 있을 수 있다면 약 60℃ 정도이다. 온도가 높다고 판단되었을 경우에는 권선의 온도를 측정해야 하고, 전동기의 온도상승 특성을 조사해 둘 필요가 있다.

### 3.2 전동기의 운전 및 관리

전동기에는 철손, 기계손 등 고정손실이 있으므로 출력이 없어도 손실이 발생한다. 부하를 조정하여 전부하 운전시간을 많게 하고, 공전시간 및 경부하 운전시간을 적게해야 한다. 공전시간을 단축하기 위하여 전동기를 기동 및 정지하는 경우, 그 빈도수가 전동기에 이상이 없어야 한다. 회전자가 알루미늄인 경우는 별문제가 없으나, 회전도체에 동봉을 사용하고 있는 100~200kW 정도의 능형 유도전동기는 가령 1일 20회 정도의 기동을 계속하면 2~3년에 동봉이 파괴될 수 있으므로 주의가 필요하다.

전동기의 각 상전압은 평형을 유지해야 한다. 개폐기의 접촉불량, 퓨즈의 1차 단선, 1차 권선의 단선 등으로 전압 불평형이 되면 전동기의 출력이 감소되고 온도가 상승되어 전동기 소손의 원인이 될 수 있다. 전동기의 공극은 균일하게 유지해야 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 주의가 필요하다.

전동기의 기동전에는 반드시 개폐기류를 점검하고, Y-Δ 기동기, 1차 저항 기동기, 2차 저항 기동기, 리액터 기동기 등 기동장치가 정상인지 기동 인터록이 확실한지 파악해야 한다. 안전 및 보호장치가 있는 것은 그 동작을 확인하여 두고 전동기의 온도상승, 진동, 이상음 등을 주의하고, 1년에 한번씩 정기적인 청소를 실시해야 한다.

베어링의 윗면의 온도는 주위온도 30℃에서 75~85℃ 이하이어야 하고, 베어링의 주유는 1년에 1~2회, 기름교환은 2~3년에 1회 정도가 적합하나 기종별로 따로 주기가 정해져 있는 것도 있다. 전동기의 절연저항 측정은 운전정지 직후 실시하는 것이 원칙이며, 절연저항의 측정은 임시측정 외에 정기적으로 연 1회 이상 실시해야 한다. 표 5는 전

동기의 고장과 대책을 요약한 것이다.

베어링이 뜨거운 것은 축이 휘어 있거나, 벨트가 너무 팽팽한 것, 풀리가 베어링에서 너무 떨어진 것, 풀리 직경이 작은 것, 윤활유 양이 불충분하거나 열화된 것, 베어링의 마모 등의 원인이 있으므로 정기적인 점검이 필요하다. 진동이 크거나 소음이 심한 것은 축심이 일직선이 아닌 것, 기초가 약함, 커플링 또는 피구동 설비의 평형이 나쁜 것, 베어링 불량, 3상 전동기의 단상 운전 등의 원인으로 발생하므로 축심, 기초, 구동설비의 평형, 회로를 철저히 점검해야 한다.

#### 4. 전동기 가변속 운전을 위한 인버터 시설 요점

##### 4.1 인버터를 이용한 전동기의 속도제어

인버터를 이용하여 전동기에 입력되는 전원 전압의 크기와 전원 주파수의 크기를 부하의 상태에 따라 변화시켜 전동기를 가변속 운전하면, 운전능률을 향상시키면서 에너지절약도 동시에 가능하게 된다. 유도전동기의 회전수( $N$ )는

$$N = \frac{120f}{p}(1-S)$$

의 관계에 있다. 여기서,  $f$ 는 공급전원 주파수,  $p$ 는 전동기의 극수이고,  $S$ 는 전동기의 슬립이다. 전동기의 극수를 변화시키려면 고정자 권선의 접속방법을 바꾸어야 한다. 이 방법은 제어가 간단한 장점은 있으나, 불연속적인 2~3단계의 속도변화만을 얻을 수 있는 단점이 있다. 슬립을 변화시키는 방법은 1차 전압제어, 2차 여자제어, 2차 저항제어가 있는데, 1차 전압제어의 경우 장치 취급이 용이하나, 저속시 효율이 나쁜 단점이 있다. 2차 저항제어도 단계적인 속도제어만 가능하고 슬립링 등 부속장치의 보수가 필요하다. 주파수를 변화시키는 방안이 가장 경제성이 높고 운전효율도 높아 이용이 계속 증가되고 있다. 인버터를 이용하여 전원 주파수와 전원 전압의 비율을 일정하게 유지하면서 전동기의 속도제어를 행하게 되면 토크를 일정하게 유지하면서 다양한 제어가 가능하게 된다.

인버터를 이용하여 유도전동기를 속도제어하는 것은 다음과 같은 장점이 있다.

- 이미 시설된 전동기를 간단하게 제어할 수 있다.

전동기의 운전회로에 인버터를 추가하면 배선공사가 간단하고, 추가 설치에 따른 기초변경과 같은 공정이 필요 없다.

- 광범위하고 효율 좋은 가변속 운전이 가능하다.

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

- 전원측 역률이 양호하므로 전동기 기동시 전원용량이 작아도 된다.

인버터는 교류(일정한 전압 및 일정한 주파수)→직류→교류(가변 전압 및 가변 주파수)로 전력변환이 가능하므로 입력 역률은 전동기 역률과 관계없이 대체로 일정하다. 일반적으로 인버터에는 3상 전파 정류기가 많이 사용되므로 입력 역률은 약 94% 정도로 되며, 콘덴서 영향 때문에 약간 저하한다. 인버터 없이 전동기를 기동하게 되면 기동시 정격전류의 약 5~6배의 기동전류가 흐른다.

그러나 인버터에 의한 전동기 운전은 전원 주파수를 수 Hz로 낮추어 기동하기 때문에 인버터의 입력 전원용량이 작아도 된다. 일반적으로 입력 전원용량은 전동기의 출력용량의 1.5배 이하가 좋다.

- 높은 빈도의 운전 및 정역 절환 운전이 가능하다.

상용전원에 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 상회전을 바꿀 수 있어 정역 전환운전이 용이하다. 전동기를 감속하는 경우에는 전동기의 회전수에 따라 인버터의 주파수를 낮추어 회생제동도 가능하여 효율 좋은 에너지절약 운전이 가능하다.

<표 6> 전동기측 이상현상과 인버터측 대응

전동기측 이상 현상		인버터측 대응
연속 운전출력 부족	부하용량 과대 최대 적용 전동기단 초과하여 적용	인버터 과부하, 과부하 보호 릴레이 동작 전류 리플 과대, 순시 과전류, 과전류 계전기 동작
기동 토크 부족	부하 토크 과대, 가속시간이 너무 작음 GD <sup>2</sup> 과대	전동기 탈조, 인버터 과부하, 과부하 보호 릴레이 동작, 순시 과전류, 과전류 보호 릴레이 동작
운전 패턴 변경시에 일시적인 출력 부족		전동기 탈조, 인버터 과부하, 과부하 보호 릴레이 동작, 순시 과전류, 과전류 계전기 동작
전원 전압저하, 선로 전압강하에 의한 단자전압 저하		전동기 탈조, 인버터 과부하, 보호 릴레이 동작
주위 온도 과대		과열 보호 릴레이 동작
입력전압 불평형		전원측 MCB 트립, AC 퓨즈 용단, 주회로 다이오드 과열
단상 입력		주회로 다이오드 과열, 주회로 콘덴서 과열

• 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 환경에서는 전동기만 전용 전동기로 하고, 인버터는 일반용으로 하여 통상의 전기실에 설치하면 된다. 전압원 인버터는 여러 대의 전동기라도 한 대의 인버터로 일괄 제어할 수 있으며, 출력 주파수와 전압을 변화시켜 간단히 정 토크, 정 출력 특성을 얻을 수 있다.

## 4.2 인버터의 규격과 운전 성능

### (1) 인버터의 규격

인버터를 시설하는 데는 우선 적용 전동기의 출력을 결정해야 한다. 전동기의 출력(kW)은  $\frac{NT}{973}$ 로 산출하는데,  $N$ 은 전동기의 회전수(rpm),  $T$ 는 전동기의 토크(kgm)이다. 인버터의 정격용량(kVA)은  $\frac{P}{\eta \cos\phi}$ 로 산출하며,  $\eta$ 는 전동기의 효율이고 약 0.85 정도이며,  $\cos\phi$ 는 전동기의 역률로 약 0.75로 한다. 용량 산정시 여유율은 1.1~1.2 정도로 하고 있다. 정격전류는 인버터가 연속적으로 출력 가능한 출력전류값으로 적용 전동기의 정격전류값과 대체로 같고, 사용하는 스위칭 소자의 전류용량에 따라 제한을 받는다. 과부하 내량은 인버터측에서 출력

가능한 출력전류값의 정격전류값에 대한 비이며, 스위칭 소자의 열적 특성에 따라 달라진다. 전동기의 과부하 보호는 일반적으로 동작시간에 상반하는 반한시 특성이 된다. 공조용 팬이나 펌프의 가변속 운전은 부하가 2승 토크 특성이므로 저속 운전의 경우에는 경부하가 되기 때문에 일반용 전동기로 저속 운전을 장시간 계속하면 전동기의 온도상승으로 과열, 소손되는 경우가 있으므로 주의를 요한다. 입력전압, 주파수 허용범위, 출력전압 및 출력 주파수의 비율(V/F비), 가속시간 및 감속시간, 인버터의 부대기능을 검토해야 한다.

### (2) 인버터의 효율적 운전

인버터의 출력용량은 연속 정격 출력용량, 최대 적용 전동기, 단시간 과부하 내량을 검토해야 한다. 통상 일반용 인버터의 출력용량은 주위온도 40~45℃로 100% 연속 출력용량을 (kVA) 단위로 표시하고 있다. 인버터 운전시 여러가지 이상현상을 요약하면 표 6과 같다.

인버터의 입력전압은 ±10%, 입력주파수는 ±5%가 일반적이다. 과부하 내량은 전동기의 기동 및 가속시 문제가 된다. 기동 토크와 가속 토크는 그 내량에 의하여 제한을 받기 때문에 부하전류가 과부하 내량을 초과하면 과전류 차단 보호장치를 구동하여 인버터를 정지시킨다.

전동기를 저속 영역에서 계속 운전하면 전동기의 냉각효과가 감소하므로 온도가 상승한다. 인버터의 출력에는 고조파를 함유하고 있기 때문에 고조파 손실에 대비하여 인버터의 제어범위를 조정

〈표 7〉 과부하 대책

상 황	전동기측 대책	인버터측 대책	비 고
배선에서 전압강하가 큼 입력측에서 출력측으로 교류 리액터가 있는 경우	전동기의 단자전압을 높임	출력 V/F를 높임 전원전압을 높임 케이블 사이즈를 크게 함	PWM 방식에서 100% 주파 수에도 수% 전압상승이 나 타나는 경우가 있다 무부하시 주의
전원용량이 작으면서 전압저 하가 큰 경우		전원전압을 높임 전원용량을 높임	전원 고조파 고려하여 용량 산정
출력저하에 대한 여유가 있 는 경우	전동기의 출력을 저하시킴	정도가 좋은 속도제어기로 변동을 억제함	
단시간 과부하 보호가 필요 한 경우		150%, 60초 과부하 보호를 110 ~120% 연속정격으로 변경	인버터 제작사의 성능 규격 검토

해야 한다. 과부하에 대한 대책은 인버터측과 전동기측으로 나누어 검토할 필요가 있다. 표 7은 과부하 대책을 요약한 것이다.

### 5. 맺음말

산업분야 및 각종 건물 등에서 전동기를 주축으로 한 전동력 설비는 각종 산업기능의 원동력이 되는 핵심설비이면서 에너지도 가장 많이 소비하는 대단히 중요한 부분이 되고 있다. 전동력 설비의 규모가 증대됨에 따라 전동기, 인버터, 감시 제어장치가 서로 결합하여 시스템화 되고 있는 추세이다. 따라서 전동력 설비의 효율적 운영은 경제성을 높여줄 뿐만 아니라 막대한 에너지절약을 유도할 수 있다. 전동력 설비를 효율적으로 운영하려면 설계단계에서의 적절한 검토와 부하특성에

알맞는 철저한 유지관리가 필요하다.

전동력 설비는 설계시에 부하밀도와 수요율을 합리적으로 고려해야 하고, 효율적 운영을 위한 전동기의 관리와 인버터를 이용한 가변속 제어 시스템 구축이 이루어져야 한다. 공기조화 시스템의 경우 인버터를 이용한 가변풍량 제어 공조방식은 에너지절약은 물론 쾌적한 공기조화를 위한 필수 방식으로 공조 시스템의 운전성능을 크게 향상시키고 있다.

전동기, 인버터, 감시제어장치 등 여러가지 요소 설비로 이루어진 전동력 설비들은 부하에 알맞게 시설되어야 하고, 요소 설비별로 철저한 유지관리가 이루어져야 할 것이다. 앞으로 전동력 설비의 시스템을 구성하는 요소 설비들의 자동진단, 시스템의 수명 평가, 컴퓨터를 이용한 효율적 관리 등 다양한 유지관리 기법을 검토하고 적용할 필요가 있다.

## 해외서 한국으로 전화 싸게 가는 법 ②

외국에 나가면 모든 것이 어설피다. 특히 호텔에서 불과 몇 분동안 한국으로 전화를 하고는 수십달러의 돈을 지불한 경험이 있다면 전화거는 방법이 서툴기 때문이다. 해외 호텔에서 국내수준의 저렴한 요금에 후불로 국내 전화할 수 있는 방법이 있다.

간혹 외국에 나가본 사람은 한국통신의 신용카드서비스와 데이콤의 비자폰서비스가 적절하다. 이 서비스는 출국전 한국통신카드(발급에 1주일 소요, 전화주문 가능)와 비자카드를 준비해야 한다. 요금은 각각 LA에서 3분통화 기준으로 3,760원, 3,730원이다. 신용카드서비스를 이용하려면 1-800-822-8296에 7자리 카드번호와 4자리 비밀번호를 입력한 뒤 0을 뺀 국내지역번호와 전화번호를 입력하면 된다. 비자폰서비스는 1-800-815-6732를 누르면 카드번호를 누르세요라는 메시지에 따라 비자카드번호(16자리)를 누르고 전화번호를 다시 누르면 된다. 한국통신의 신용카드서비스와 방법, 요금이 유사한 데이콤의 카드서비스 상품도 있다.