

## 汎用인버터의 速度制御範圍

범용인버터(汎用Inverter)는 범용농형유도전동기를 스피드 콘트롤하는 전원장치이다. 최근의 범용인버터는 거의 스위칭소자로 트랜지스터가 사용된 트랜지스터 인버터이다.

요 몇년 동안의 트랜지스터의 고내압, 대전류화에 수반하여 트랜지스터 인버터의 용량증가와 고성능화가 진행되고 코스트의 저하와 더불어 급격히 범용인버터의 수요가 증대하고 있다. 종래 일정속도로 운전하던 범용농형 유도전동기를 범용인버터를 사용하여 그대로 간단하게 가변속운전을 할 수 있다.

범용인버터는 전동기에 공급하는 전원 주파수를 변화시켜 스피드 콘트롤을 하기 때문에 효율이 좋고 무단계로 가변속운전이 가능하며 다음과 같은 이점(利點)이 있다.

(i) 범용농형유도전동기를 그대로 저속에서 고속까지 손쉽게 효율이 좋게 속도제어를 할 수 있다.

범용인버터를 사용하면 종래 일정속도로 운전하던 농형유도전동기를 입력전원 주파수에 관계없이 저속에서 고속까지 연속적으로 스피드 콘트롤을 할 수 있다.

(ii) 범용인버터는 범용농형유도전동기를 램프(Ramp)환수에 의해 매끄럽게 주파수 가속하고 또한 감속시에는 발전제동에 의해 스무스하게 감속할 수 있다.

종래의 상용전원에 의한 운전에 비교하여 소프트스타트(Soft Start), 소프트스톱(Soft Stop) 하므로 쇼크레스(Shockless)의 가감속운전을 할 수 있다.

(iii) 고빈도(高頻度)의 운전·정지가 가능하다. 상용전원에 의해 범용농형유도전동기를 고빈도로

시동·정지할 경우, 시동시의 발열 때문에 주의할 필요가 있다. 그 때문에 간헐적으로 운전하는 콘베어 등의 장치에서도 종래에는 연속운전을 하였으나 범용인버터를 사용하면 수Hz의 저속에서 시동하여 매끄럽게 주파수 가속 및 감속을 할 수 있으므로 전동기의 발열도 작게 고빈도의 운전, 정지를 할 수 있다.

(iv) 범용인버터에 의한 스피드 콘트롤은 기계적인 변속장치나 직류전동기를 사용한 가변속장치에 비하여 농형유도전동기를 그대로 가변속운전하므로 메인テナンス프리(Maintenance Free)의 효율이 좋은 속도제어방식이다.

여기서는 범용인버터에 의한 농형유도전동기의 속도제어방식에 관하여 속도제어 범위, 주의사항을 기술한다.

### 1. 범용 농형유도전동기의 속도제어방법

범용 농형유도전동기의 속도를 제어하는 것은 전동기의 극수를 변경하는 방식(Pole-Change Motor) 슬립을 변화시키는 방식(일차전압제어방식) 그리고 주파수를 제어하는 방식이 있다.

범용인버터에 의한 농형유도전동기의 속도제어방법은 이중 주파수를 변화시키는 방식이다.

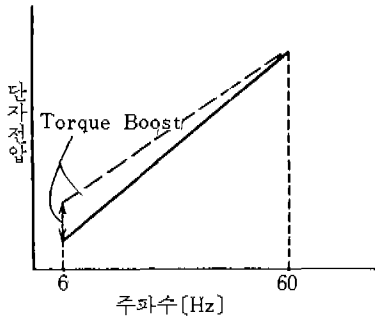
#### (1) 일차주파수제어

유도전동기의 회전수는 다음 식과 같이 표현된다.

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

N : 회전수, f : 주파수, P : 극수, S : 슬립

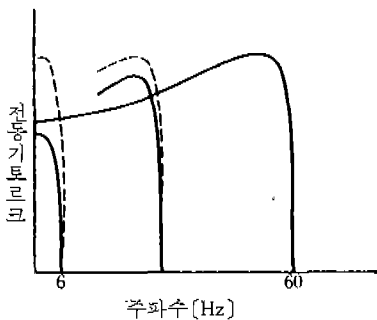
일차주파수제어는 이 주파수  $f$ 를 제어하여 회전수  $N$ 을 변화시키는 방식이며, 극수  $P$ 나 슬립  $S$ 를 변화시키는 방식과 비교하여 효율이 좋고 연속적으로 속도를 제어할 수 있다. 전동기에 공급하는 주파수를 변화시키는 경우, 전동기의 자기포화(磁氣飽和)를 방지하기 위하여 전동기 단자전압을 주파수에 비례하여 변화시킬 필요가 있다. 이것을  $V/f$ 제어 ( $V$ : 단자전압,  $f$ : 주파수)라고 한다. 이 전동기 단자전압과 주파수의 관계를 그림 1에 표시하였다.



〈그림 - 1〉 전동기단자전압과 주파수의 관계

(2) 유도전동기의 토크 특성

$V/f$ 제어방식의 범용인버터로 유도전동기를 운전했을 때의 토크 특성을 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 보는바와 같이 슬립이 작은 범위의 회전수와 토크의 관계는 주파수에 관계없이 거의 동일하며, 주파수가 저하함에 따라서 최대토크가 저



〈그림 - 2〉  $V/f$  제어시의 전동기 토크 특성

하한다.

이것은 전동기의 권선저항에 의한 전압Drop의 영향이며  $V/f$ 제어방식에서는 주파수가 저하함에 따라서 전동기 단자전압도 작아지기 때문에 전압Drop을 무시할 수 없으며 전동기 토크의 감소도 크다. 이 토크저하를 보상하기 위하여 일반적으로 낮은 주파수 영역에서는 단자전압을 올려준다. 이것을 Torque Boost라고 부른다.

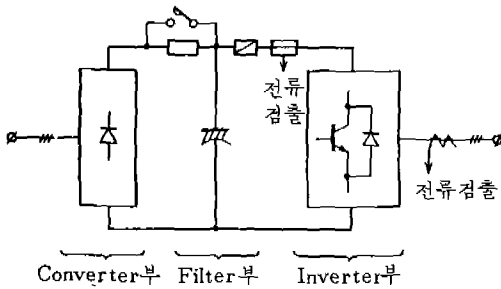
Torque Boost를 했을 경우의 유도전동기의 토크 특성을 그림 2의 점선으로 나타내었다. Torque Boost에 의해 전동기의 단자전압을 너무 올리면 경우하시에 철심의 자기포화를 일으켜 전동기 전류가 증가하기 때문에 주의가 필요하다.

2. 범용인버터의 제어방법

(1) 범용인버터의 구성

범용인버터의 대부분은 스위칭소자로서 트랜지스터가 사용되고 있다. 종래 인버터에는 교내압, 대전류화가 용이한 사이리스터가 한결같이 사용되어 왔으나 사이리스터는 전류를 차단하기 위하여 별도의 전류회로(轉流回路)가 필요하고 스위칭 주파수도 그다지 높일 수가 없어, 전류회로(轉流回路) 손실에 의한 효율저하등의 문제가 있었다.

한편 트랜지스터는 베이스신호에 의해 간단히 전류의 ON·OFF가 가능하고, 더구나 스위칭 주파수를 높일 수 있는 이점(利點)이 있어, 최근의 트랜지스터 소자의 전압, 전류의 용량증가에 수반하여 중소용량의 범용인버터에는 트랜지스터 인버터가 가장 많이 보급되어 있다. 범용 트랜지스터 인버터의 주회로 구성예를 그림 3에 보였다. 인버터는 교류 입력전원을 직류전압으로 변환하는 콘버터부와 직류전원을 평활하게 하는 필터부 및 직류로부터 교류출력으로 변환하는 인버터부로 구성되어 있다. 콘버터부에는 3상 다이오드 브리지 (Diode Bridge) 정류회로가 사용되며, 필터부는 대용량 전해콘덴서에 의해 정류회로의 직류전압 리플(Ripple)을 평활하게 하는 일과 유도전동기 운전시의 무효 전력의



〈그림-3〉 범용인버터의 주회로구성

처리를 한다. 인버터부는 3상분의 트랜지스터 모듈(Module)에 의해 구성되며 모듈에는 인버터트랜지스터와 피이드백 다이오드가 내장되어 있다.

(2) 범용인버터의 주파수제어

인버터부의 트랜지스터는 스위치로서 동작하며, 트랜지스터의 베이스신호에 의해 ON·OFF한다.

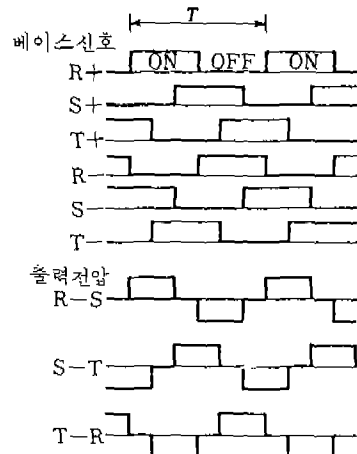
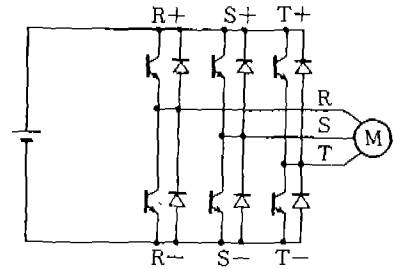
이 트랜지스터 스위치를 6개 조합하여 3상 인버터를 구성하며 스위치를 일정한 시퀀스에 의해 ON·OFF함으로써 직류에서 교류로 변환한다. 이 인버터 동작의 설명을 그림 4에 나타내었다.

동작과형에서 알 수 있는 것처럼 인버터의 출력주파수는 트랜지스터 스위치의 ON·OFF주기에 의해 결정되므로 트랜지스터의 베이스 신호에 의해 주파수를 제어할 수 있다. 요컨대 그림 4의 주기 T가 길어지면 주파수가 낮고 짧아지면 주파수가 높아진다.

이 트랜지스터 스위치의 베이스 신호는 제어회로의 발진기의 출력신호를 3상으로 분배하여 만들며 인버터 출력주파수는 이 발진기의 정도(精度)에 의해 결정된다.

(3) 범용인버터의 전압제어

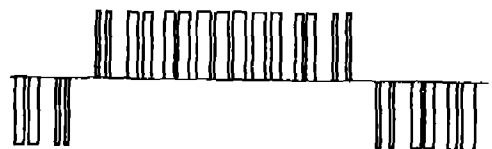
유도전동기를 운전할 경우 인버터의 출력주파수와 전압은 앞서 말한 바와 같이 거의 V/f비를 일정하게 하여 제어할 필요가 있다. 인버터의 출력전압을 제어하는 방식으로서 PAM제어방식(펄스진폭변조)과 PWM제어방식(펄스폭변조)이 있으나 최근의 범용인버터는 거의 PWM제어 방식을 채용하고 있



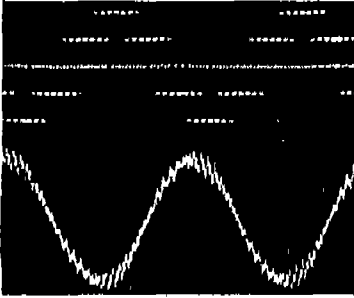
〈그림-4〉 인버터의 동작

다.

PWM 제어는 그림 4의 출력전압과형의 진폭을 일정하게 하고 파형에 슬릿(Slit)을 넣어 슬릿의 수나 폭을 변화시켜 출력전압을 제어하는 방식이다. PWM 제어방식에는 슬릿의 넣는 방법에 따라 각종방식(등간격PWM, 계단파PWM, 정현파PWM 등)이 있으나, 정현파PWM제어 인버터가 많다. 정현파PWM제어 인버터의 출력전압은 파형의 바깥쪽 펄스폭이 좁고 안쪽이 넓게 평균적으로 정현파에 근사시키며, 전동기전류는 거의 정현파가 된다. 정현파PWM제어인버터의 출력전압과형과 전동기 전류의



〈그림-5〉 정현파PWM의 출력전압과형에



〈그림 - 6〉 정현파PWM의 출력전류예

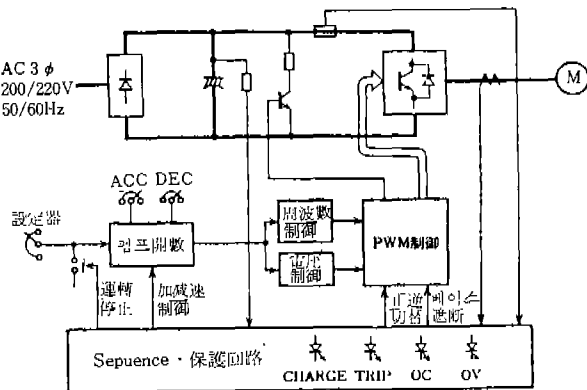
일례를 그림 5, 6에 나타낸다.

#### (4) 범용인버터의 제어회로구성

범용인버터의 제어회로 예를 그림 7에 나타내었다. 주파수설정기의 신호는 램프(Ramp) 함수발생기를 통하여 주파수제어 및 전압제어회로에 주어진다. 램프 함수발생기는 주파수설정을 변경하여도 인버터 주파수의 급변을 피하기 위하여 출력신호를 매끄럽게 경사 모양으로 변화시킨다.

또한 가감속 중에는 인버터가 과전류나 과전압이 되지, 않도록 가감속시간을 제어한다.

PWM 제어회로는 주파수제어, 전압제어 회로의 신호로부터 정현파PWM 파형을 합성하여 인버터 출력파형이 정현파 모양이 되도록 트랜지스터 스위치의 ON-OFF신호를 발생한다.



〈그림 - 7〉 범용인버터의 제어회로

### 3. 범용인버터의 속도제어범위

범용인버터는 속도정도(速度精度)가 그다지 요구되지 않는 일반산업기계의 가변속운전용으로 적용하는 경우가 많으며 속도제어범위도 그렇게 넓지 않다.

범용인버터를 사용하여 범용농형유도전동기를 제어할 때, 제어범위는 일반적으로 1 : 10 정도이며, 범용인버터, 범용농형유도전동기 각각이 실용적으로 문제가 없는 제어범위가 결정된다. 범용인버터, 범용농형유도전동기의 속도제어범위를 결정하기 위하여 주의해야할 사양, 특성에 관하여 기술한다.

#### (1) 범용인버터의 속도제어범위

범용인버터는 교류전동기에 공급하는 주파수를 변화시켜 전동기의 속도를 제어한다. 전동기의 단자전압은 주파수에 거의 비례하도록 제어한다. 따라서 범용인버터의 제어가능 속도범위는 인버터의 주파수, 전압의 제어방식에 의해 결정된다. 또한 범용인버터의 전압제어방법은 일반적으로 정현파 PWM 제어방식이 채용되며, 이 제어방법에 의해서도 제어범위가 제약된다.

#### (2) 주파수제어범위

일반적으로 범용인버터의 주파수 제어범위는 1 : 10, 1 : 20등으로 표시된다. 이것은 정격 주파수룰 기준으로 한 제어범위이며 정격주파수가 60Hz, 제어범위가 1 : 10이면 주파수를 60Hz에서 6 Hz까지 제어할 수 있다.

전술한 제어회로(그림 7)에 나타낸 주파수제어회로의 방식에도 좌우되지만, 범용인버터의 제어회로의 최저주파수는 1 Hz이하도 가능하다. 그러나 범용농형유도전동기와의 조합특성 때문에 시동주파수를 수Hz로 하는 인버터가 많다. 이것은 전동기전류에 대한 토크의 비율이 최대가 되는 주파수에서 시동하는 것이 가장 시동효율이 좋고, 소용량의 범용농형유도전동기의 경우, 수Hz에서 시동하는 것이 가장 효율이 높기 때문이며 전동기 용량이 크게 됨에 따라서 주파수가 저하한다. 시동시의 주파수

를 수Hz로 하더라도 연속운전이 가능한 주파수범위는 범용농형전동기의 속도제어 가능한 조건 때문에 종합적으로 1 : 10정도의 범용인버터가 많다. 일반적으로 범용농형유도전동기의 가변속운전에는 1 : 10정도의 제어범위로 충분하며 보다 넓은 제어범위를 필요로 하는 경우에는 고성능의 인버터와 인버터용으로 전용설계된 농형유도전동기를 사용하면 좋다.

다음에 정격주파수 이상을 정출력특성 (Power Constant)으로서 1 : 2정도의 제어범위를 가지는 인버터가 많다. 이처럼 정격주파수 이상을 정출력 특성으로 하는 경우 범용농형유도전동기를 정격회전수 이상으로 운전하므로 사전에 전동기를 정격회전수 이상으로 운전할 수 있는지 확인해 둘 필요가 있다.

**(3) 주파수정도, 주파수분해능**

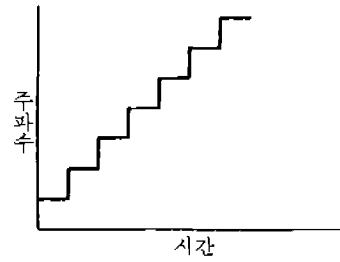
범용인버터의 속도제어범위 체크에는 주파수제어범위 외에도 주파수정도(周波數精度)나 주파수의 분해능(分解能)도 검토할 필요가 있다. 주파수정도는 정격주파수에 있어서의 주파수의 변동범위를 말하며 일반적으로 주파수정도  $\pm 0.5\%$  정도의 범용인버터가 많다. 이 주파수정도는 규정된 온도, 입력전원전압의 변동조건에 대한 정도이다. 주파수가 정격주파수보다 낮게 됨에 따라서 그 주파수에 있어서의 정도는 낮아진다.

그러나 농형유도전동기를 가변속 운전할 경우 부하변동에 의한 전동기 슬립의 변동이 더 커서 일반적으로 주파수정도는 그다지 문제가 되지 않는다.

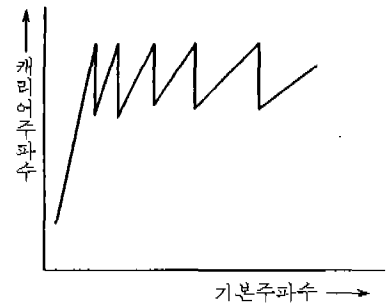
마이크로를 사용한 디지털 제어방식의 범용인버터는 주파수가 단계적으로 밖에 변화하지 않는다. 이 불연속이 되는 최소주파수 폭을 주파수분해능이라고 한다. 주파수분해능이 생기면 인버터의 주파수가 불연속적으로 변화하므로 주의가 필요하다. 이 모양을 그림 8에 보였다.

**(4) 전압제어범위**

범용인버터의 전압제어방식은 정현파PWM 제어방식이 많다. 정현파PWM 제어방식은 전술한 바와



〈그림-8〉 주파수분해능



〈그림-9〉 기본주파수와 캐리어주파수의 관계

같이 인버터의 출력전압에 슬릿을 넣어, 이 슬릿의 수와 폭을 변화시켜 전압제어하는 방식이다. 따라서 전압이 낮아지면 슬릿의 폭이 크고, 파형의 찌그러짐이 크게 되어 전동기전류의 맥동이 증가한다. 전류맥동을 작게 하려면 출력전압의 슬릿수를 늘려서 기본파전압에 대한 맥동전압(교조파 성분)의 주파수를 높게 한다. 요컨대 기본파에 대한 캐리어 (Carrier) 주파수의 비를 크게 하는 것이 유효하다.

일반적으로 기본파주파수와 캐리어 주파수의 비는 일정(동기식이라고 한다)하며, 주파수에 대응하여 여러 단계로 이 주파수비를 절환하는 인버터가 많다. 이 기본주파수와 캐리어주파수의 관계의 일례를 그림 9에 나타내었다.

PWM 제어방식의 범용인버터의 전압제어범위는 PWM 제어방법, 기본파에 대한 캐리어 주파수의 비, 캐리어주파수비의 절환단수(切換段數)에 의해 제어가능범위가 결정된다.

PWM 제어방식의 범용인버터는 초퍼(Chopper)회로나 사이리스터 위상제어회로에 의해 직류전압을 가변하므로 낮은 전압에서의 전압맥동에 의해 제어범위가 제한된다.

#### 4. 범용형유도전동기의 속도제어 범위

범용인버터로 유도전동기를 운전하면 상용전원으로 구동할 때에 비하여 인버터과형의 고조파성분에 의해 진동, 소음이 약간 증가한다. 그러나 정밀기거나 최저속 등의 연속사용을 제외하면 그다지 문제가 되지않을 때가 많다. 또한 전동기와 기계장치 전체로서 기계계(機械系)의 고유진동에 의한 공진이나 회전계의 언밸런스(Unbalance)에 의해 특정의 회전수에서 진동, 소음이 크게될 수 있으나 전동기의 설치를 굳건하게 하고 타이어(Tire)형 커플링을 채용하는 등의 방법에 의해 경감할 수 있다. 전동기의 진동, 소음을 작게하기 위해서는 인버터의 출력쪽에 교류리액터를 붙이는 것도 유효하다.

다음에 범용인버터로 범용형유도전동기를 가변속운전할 경우에 속도제어범위를 결정하기 위하여 검토해야할 항목에 대하여 기술한다.

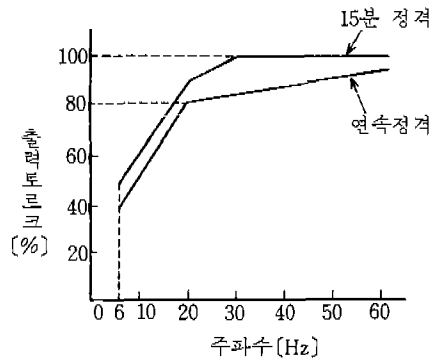
##### (1) 전동기의 냉각능력에 의한 제어범위

범용형유도전동기는 상용전원(50Hz 또는 60Hz)에 의한 일정속운전용으로 설계되어, 범용인버터에 의해 스피드 콘트롤을 할 경우, 인버터 출력과형에 포함된 고조파의 영향으로 손실이 증가하며, 더우기 저속이 될수록 전동기의 자냉팬(自冷Fan)에 의한 냉각능력이 저하하므로 전동기의 온도상승이 커진다. 그 때문에 범용인버터에 의해 가변속운전할 경우 주파수에 의해 사용할 수 있는 출력토크를 저감시키지 않으면 안된다. 이 일례로서 범용형유도전동기와 범용인버터를 조합하여 운전했을 때의 토크 특성을 그림10에 나타낸다. 허용토크는 주파수가 내려감에 따라서 점감(漸減)하며 특히 20Hz이하에서는 큰 폭으로 토크가 저하한다.

속도제어범위를 결정할 경우에는 이점에 십분 주의할 필요가 있다.

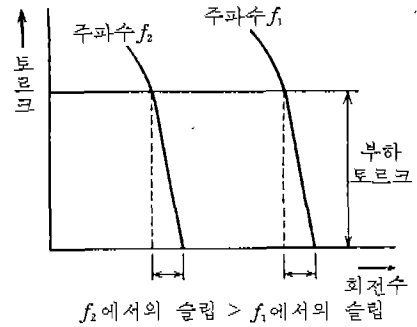
##### (2) 전동기의 토크특성에 의한 제어범위

범용형유도전동기를 범용인버터에 의해 가변속



\*본 특성은 45kw이하의 모타특성

〈그림-10〉 범용전동기의 허용토크 특성



〈그림-11〉 주파수에 의한 슬립의 변화

운전할 때의 토크특성은 앞에 기술한 그림2와 같이 된다. 주파수가 변화했을 때의 슬립주파수와 전동기 토크의 관계는 슬립이 작은 범위에서는 주파수에 관계없이 거의 일정하게 된다. 정토크부하를 구동할 경우 부하토크에 대한 회전수의 강하량(降下量)은 주파수에 관계없이 그다지 변하지 않으므로 동일 토크에 대한 슬립은 주파수가 내려감에 따라서 크게 된다.

이 모양을 그림11에 나타낸다. 인버터의 주파수가 50% 내려가면 동일 토크의 슬립은 100%주파수의 거의 2배가 된다. 그림11의 토크특성은 전동기의 권선저항에 의한 영향을 보사한 특성이며, 토크부스트(Torque Boost)가 작을 경우에는 전압강하의 영향으로 토크가 저하하기 때문에 한층 더 슬립은 커진다. 범용형 유도전동기를 가변속 운전할 경우 이 슬립, 요컨대 회전수의 변동 폭에

의해 실용적으로 사용할 수 있는 최저회전수가 제한된다. 또한 전술한 바와 같이 전동기전류에 대한 토크의 효율이 최대로 되는 주파수에서 시동하는 것이 가장 유효하며, 그 이하의 주파수에서는 시동 토크는 저하한다. 따라서 실용적인 최저주파수는 소용량 범용형유도전동기에서는 수Hz정도로 제한된다.

이상으로부터 범용인버터에 의한 범용형유도전동기의 운전은 제어범위가 그렇게 넓지 않고, 회전수 정도도 그다지 요구되지 않는 일반의 가변속응도에 응용하는 것이 적합하다. 회전수 정도를 필요로 하는 경우나 제어범위가 넓은 경우에는 전동기에 회전수 검출기를 부착하여 회전수의 자동제어회로를 추가한다. 이런 경우 전동기의 냉각에 대해서도 고려할 필요가 있으며, 인버터 전용전동기의 사용을 추장(推奨)한다. 인버터전용전동기는 일반적으로 정토크 운전범위가 1 : 10정도의 제어범위가 많다.

일례로서 인버터용 유도전동기의 사양을 표 1에 나타내었다.

〈표 - 1〉 인버터용 유도전동기의 사양

보호형식	전폐외선형
정격전압	200V, 400V
정격주파수	60Hz
극 수	4 p P
절 연	F종
속도범위	1 : 10, 1 : 20
토크특성	정토크특성

다음에 전동기의 회전수가 내려간 경우 전동기의 발생토크에 포함된 백동이 문제가 될 수 있다.

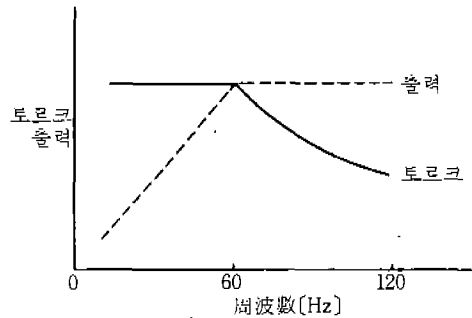
PWM 제어방식의 범용인버터의 경우 수kHz의 스위칭을 하여, 전자음(電磁音)은 증가하지만 저주파 운전시의 전동기의 토크리플은 그다지 문제가 되지 않는다. PAM 제어방식의 범용인버터를 사용할 경우 전동기토크에 기본주파수의 6배의 토크리플이 발생하므로 저속영역 운전시에 기계계의 공진에 주의할 필요가 있다.

### (3) 범용형유도전동기의 고속운전

범용형유도전동기의 허용회전수는 구격상120% 회전수이므로 상용주파수 이상의 고속운전을 할 경우에는 전동기메이커에 문의할 필요가 있다.

전동기가 고속운전이 가능하면 상용주파수 이상에서 정출력특성의 운전이 가능하다. 범용인버터는 AC→DC→AC의 변환을 하며 인버터의 최대출력전압은 교류입력전압에 의해 제한된다.

범용인버터의 최대출력전압은 거의 입력전압과 같으며, 정격주파수 이상의 고속운전의 경우, 주파수가 상승하여도 출력전압은 일정하여 정출력 특성이 된다.



〈그림 - 12〉 정출력시의 토크

따라서 정격주파수 이상은 그림12에 보인바와 같이 토크가 저하한다. 정토크부하를 구동할 때는 토크가 저하하므로 유도전동기의 출력 용량을 올리는 등의 대책이 필요하다. \*

(전기기술정보센터위원회 제공)