

에너지절약 인버터

최근 인버터의 에너지절약 및 이용 합리화는 공조용뿐만 아니라 전에는 별로 생각하지 않았던 반송(搬送)기계, 기타 일반산업기계에도 니즈가 높아가고 있다. 그 결과 여러 가지 에너지절약 방법에 의한 대처방안이 추진되고 있다.

1999년 4월에 시행된 개정 (일본)에너지법에서도

- ① 팬, 펌프, 블로어, 컴프레서 등의 유체기계에 대해서는 회전수 제어 등으로 송출량과 압력을 적절히 조정하여 전동기의 부하를 저감시킬 것
- ② 전동력응용설비를 부하변동이 큰 상태에서 사용할 때는 부하에 따른 운전제어를 할 수 있도록 회전수제어장치 등을 설치하도록 검토할 것

과 같이 공조용도 이외의 일반용도에 대해서도 인버터 설치를 장려하고 있다.

그래서 본고에서는 인버터운전에 의한 에너지절약을, 공조용도에 한정하지 않고 부하특성에 따른 것과 운전상태에 따른 것에 대하여 각각의 에너지절약 실현방법을 소개한다.

2장에서는 인버터운전으로 에너지절약을 할 수 있는 기본적인 생각을 기술한다.

3장에서는 부하특성에 따른 에너지절약 방법으로 2승저감토크 부하, 정토크 부하, 정출력 부하로 분류하여 상용운전에서의 에너지로소 요인을 분석, 인버터운전이 에너지절약이 되는 이유를 기술한다.

4장에서는 각 운전상태에 따른 에너지절약방법으로 시동·가속, 일정속도 운전, 감속·정지 모드로 분류하여 각각의 상태에서의 에너지로소의 요인을 분석, 인버터운전이 에너지절약이 되는 이유를 기술한다.

5장에서는 공조용도 이외의 분야에서 새로운 에너지절약이 가능하게 된 구체적인 사례 도입에 있어서의 주안점과 효과에 대해 소개한다.

1. 머리말

인버터 운전이 에너지절약이 된다는 것은 오래전부터 알려져 온 사실이다.

본고에서는 인버터운전에서의 에너지절약에 대한 기본적인 생각과 에너지절약 방법 및 최신의 구체적인 응용사례에 대하여 기술하고자 한다.

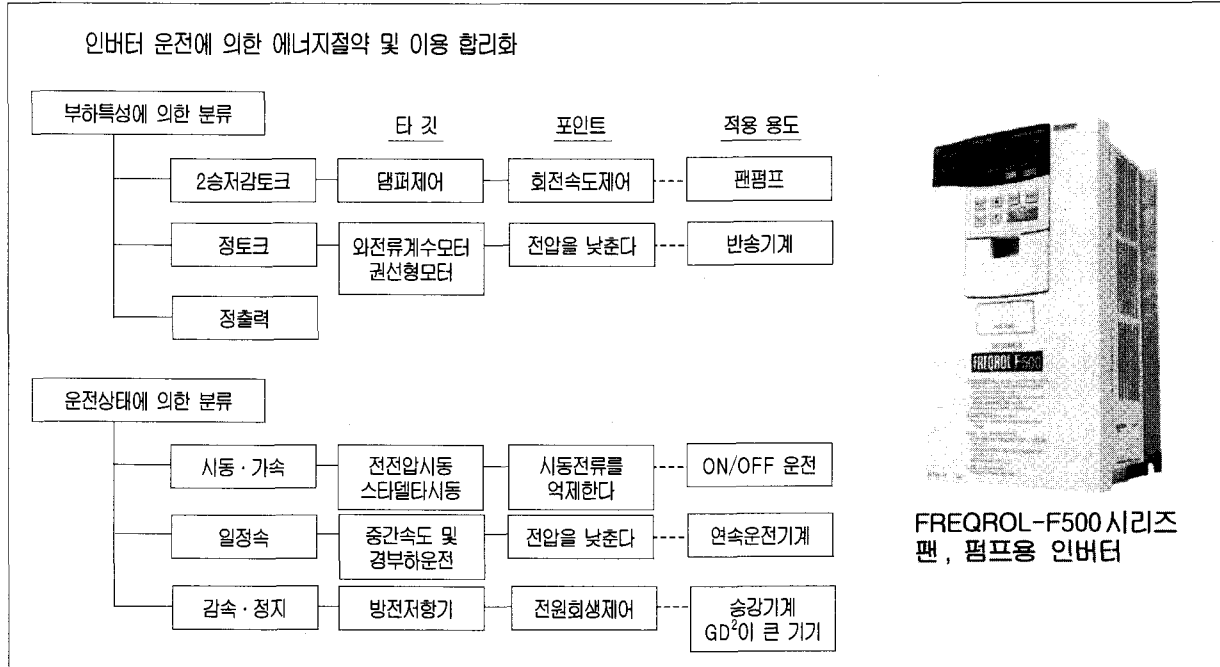
2. 인버터의 에너지절약에 대한 고려

가. 모터의 특성

유도전동기의 속도 $N(r/min)$ 은 다음 식으로 표시된다.

$$N = \frac{120 \times \text{주파수} f (\text{Hz})}{\text{모터극수} P} (1 - \text{슬립} S) \dots\dots (1)$$

유도전동기의 전압 V 와 주파수 f 와 자속(토크) 사이에



〈인버터 운전에서의 에너지절약 및 이용 합리화〉
 인버터운전에서 에너지절약을 실현하기 위한 방법을 한눈으로 알 수 있도록 표시한다.
 부하특성에 의한 것과 운전상태에 의한 것으로 분류하여 각각의 타깃이 되는 제어방법을 분석하여 구체적인 에너지절약 방법을 제안함과 동시에 그 방법이 가능한 용도를 나타내고 있다.

는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\text{자속} \propto \frac{\text{전압 } V}{\text{주파수 } f} \dots\dots\dots (2)$$

전압 V와 주파수 f의 관계를 일정하게 유지하면서 주파수를 가변시키면 저속에서 고속까지 일정한 자속(즉 일정토크)을 발생시킬 수 있다. 중간속도로 운전하는 경우 전압도 속도에 거의 비례하여 저감되도록 제어한다.

인버터는 주파수 f와 전압 V를 임의로 제어할 수 있기 때문에 유도전동기를 임의의 속도로 가변운전할 수 있다.

나. 인버터의 에너지절약에 대한 고려

(1) 최적의 속도로 모터출력을 저감

상용전원으로 모터를 중간속도로 운전하는 경우, 기계적 또는 전기적으로 브레이크를 걸 필요가 있다.

이 방식은, 모터는 전원전압이 인가되어 확실하게 토크를 내면서 브레이크로 억제하게 되기 때문에 브레이크의 억제분만큼의 에너지소모가 생기게 된다.

인버터에 의해 모터 자신의 속도를 가변토록 하면 브레이크에서 소비되는 에너지가 불필요하게 되어 에너지절약이 가능하다.

(2) 경부하시에 전압을 저감시켜 입력전력을 삭감

경부하시에는, 필요한 모터토크는 작아도 되기 때문에 모터의 여자전류를 저감시킬 수가 있다. 따라서 속도는 낮추지 않고 전압을 내릴 수 있어서 에너지절약이 된다.

3. 부하특성에 맞춘 에너지절약

부하의 종류로는 저감(低減)토크 부하, 정(定)토크 부

하, 정출력 부하의 3종류로 나눌 수 있다.

인버터운전에서의 에너지절약 효과는 모터에 걸리는 부하에 크게 영향을 받기 때문에 부하특성에 맞는 V/f 패턴을 선택할 필요가 있다(그림 1 참조).

가. 2乘低減토크 부하

회전속도가 낮아지면 속도의 2승에 비례하여 토크도 작아지는 부하로서 팬이나 펌프 등의 유체기기로 대표된다. 회전속도제어의 채용으로 대폭적인 에너지절약을 기대할 수 있다.

(1) 펌프의 특성

펌프의 특성은 일반적으로 Q-H 커브로 표시되며, 모터를 상용전원으로 운전할 때의 유량은 밸브에 의해 조정된다.

그림 2와 같이 모터의 회전속도를 N_1 에서 N_2 로 변화시키면 유량 Q, 압력H, 축동력 P_L 은 일정한 법칙에 따라 변화하며 다음 관계가 성립된다.

유량, 풍량은 회전속도에 비례 $Q \propto N$ (3)

양정(揚程), 정압(靜壓)은 회전속도의 2승에 비례
..... $H \propto N^2 (T \propto N^2)$ (4)

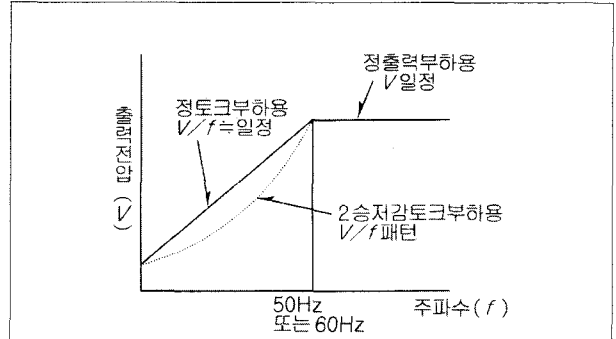
∴ 축동력(軸動力)은 회전속도의 3승에 비례
..... $PL \propto N^3 (P \propto N^3)$ (5)

(2) 2乘低減토크 부하의 특성

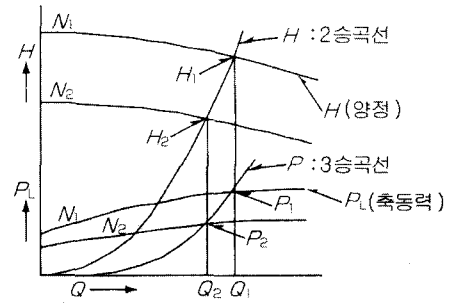
블로어를 예로 V/5 패턴에 대한 속도-소비전력의 관계를 표시하면 그림 3과 같이 된다.

댐퍼제어(상용운전)인 경우에는 풍량을 작게 하더라도 소비전력은 그리 적어지지 않으나, 인버터운전인 경우에는 소비전력이 회전속도의 3승에 거의 비례하기 때문에 풍량을 작게 할수록 소비전력이 대폭으로 감소되는 것을 알 수 있다. 이 소비전력의 차가 에너지절약이 된다.

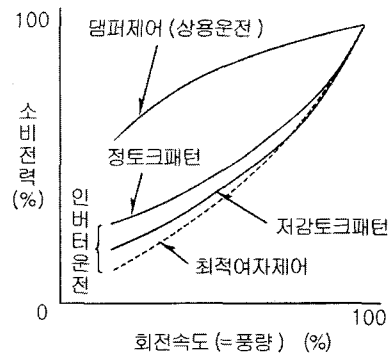
인버터운전에서는 정토크 인버터로도 충분히 에너지절



〈그림 1〉 범용인버터의 V/f패턴



〈그림 2〉 회전속도를 변화시켰을 때의 펌프의 특성



〈그림 3〉 V/f패턴과 소비전력의 관계

약이 되는 소비전력이 보다 더 적어지도록 부하토크에 맞추어 전압을 낮게 하는 2승저감토크 패턴을 선택한다. 출력전압을 부하에 따라 제어하는 최적역자제어를 선택하

면 더욱 에너지절약을 기할 수 있다.

최적여자제어란 모터가 최대효율이 되도록 여자전류를 제어하여 출력전압을 결정하는 제어방식으로 미쓰비시電機의 팬이나 펌프용 인버터 FREQROL-F500 시리즈에 채용되어 있다. 모터전류를 여자전류와 토크분 전류로 분할하여 그 비율을 손실이 최소가 되도록 제어함으로써 모터를 최고효율로 운전할 수 있기 때문에 큰 에너지절약 효과를 얻을 수 있다.

나. 定토크 부하

하중이 일정하면 속도가 변화해도 토크가 그리 변화하지 않는 부하로, 자동창고, 대차 등의 반송기계로 대표된다.

다음과 같은 방식 등이 채용되며 빈번한 가감속을 하는 기계, 낮은 속도로 운전하는 기계는 로스가 크다.

인버터화에 의하여 감속시와 중간속도 운전에서는 속도에 거의 비례하여 전압을 낮춤으로써 소비전력을 저감할 수 있어 에너지절약 효과를 얻을 수 있다.

(1) 渦電流커플링 모터

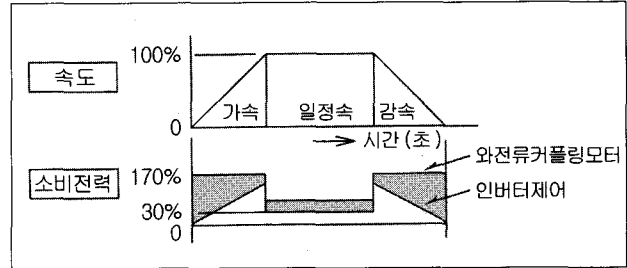
와전류에 의해 발생하는 전자력을 이용한 계수를 유도전동기와 일체화한 모터로, 와전류커플링의 전달력을 가변케 하여 가변속도운전을 한다. 유도전동기 자신은 상용운전이 된다.

운전중에는 상시 와전류커플링의 손실분(약 20%)만큼 인버터방식쪽의 전력이 절약된다. 그림 4의 ■ 부분이 인버터화로 에너지절약이 되는 부분이다.

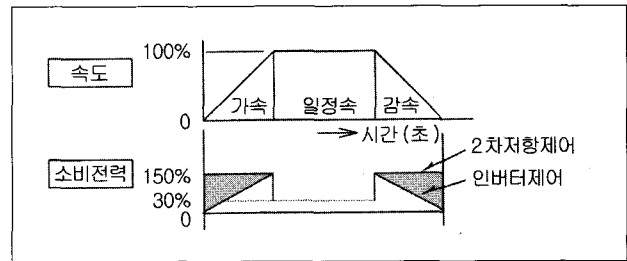
(2) 卷線形모터의 2차저항제어

권선형유도전동기를 사용하여 2차측에 저항기를 접속, 유도전동기의 '비례추이' 관계를 이용하여 2차저항치를 변화시켜 가변속하는 방식이다.

저속일수록 2차저항치가 커서 로스도 많아진다. 그림 5



〈그림 4〉 와전류커플링방식의 운전패턴



〈그림 5〉 2차저항제어방식의 운전패턴

의 ■ 부분이 발열로스분으로 인버터화에 의한 에너지절약부분이 된다.

다. 定出力 부하

회전속도가 커질수록 부하토크가 속도에 반비례하여 작아진다. 모터출력이 일정한 부하로서 공작기계 등으로 대표된다.

모터의 기저(基低)속도 이상에서 운전되면 전압패턴은 V = 일정하며 인버터의 전원전압에 의하여 결정된다.

그러나 토크가 부족해져 전압을 낮출 수 없기 때문에 에너지절약 효과는 그리 기대할 수 없다.

4. 운전상태에 따른 에너지절약

모터의 운전상태에 따라 에너지절약 방법 효과는 다르다.

가. 始動 · 加速時

상용운전에서는 다음과 같은 시동방식이 채용되는데 어느 것이나 그림 6과 같이 시동전류가 커 전력로스가 발생한다. 인버터시동으로 하면 가속시간을 적정하게 설정함으로써 시동전류를 정격전류 이하로 억제할 수가 있다. 가속중인 전압도 속도에 거의 비례하여 낮아지기 때문에 소비전력을 적게 억제할 수 있다.

시동전류를 억제하기 위한 목적으로 인버터가 채용되는 일도 있다.

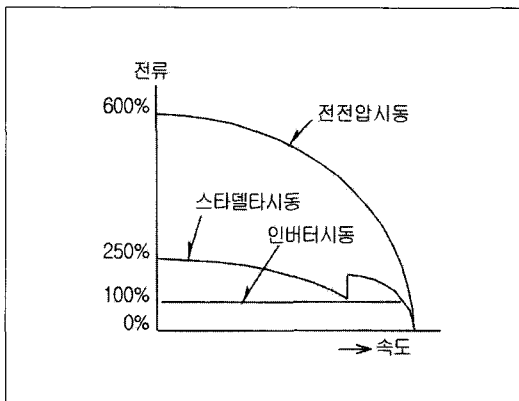
(1) 全電壓始動

시동전류는 정격전류의 6~8배 흐르기 때문에 부하의 GD^2 이 크면 시동시간도 길어져 불필요한 전력소비가 꽤 많아진다.

(2) 스타델타始動

시동시에는 스타접속으로 상전압을 $1/\sqrt{3}$ 로 억제하고 충분히 가속된 다음 델타접속으로 전환시킨다.

시동전류는 전전압시동에 비하면 1/3로 되나 정격전류의 2~2.5배 정도로 인버터 운전시보다 크며 전력로스도 크다.



〈그림 6〉 시동방식에 의한 가속시의 모터전류

나. 一定速度 운전시

컨베이어나 프레스기 등 일단 속도가 정해지면 일정속도로 연속운전하는 기계에 있어서는 운전속도와 부하의 크기에 따라 에너지절약효과가 다르다.

(1) 중간속도로 운전하는 경우

속도에 거의 비례하여 전압을 낮추기 때문에 속도가 낮을수록 상용운전에 비해 소비전력을 크게 저감시킬 수 있어 충분한 에너지절약효과를 얻을 수 있다.

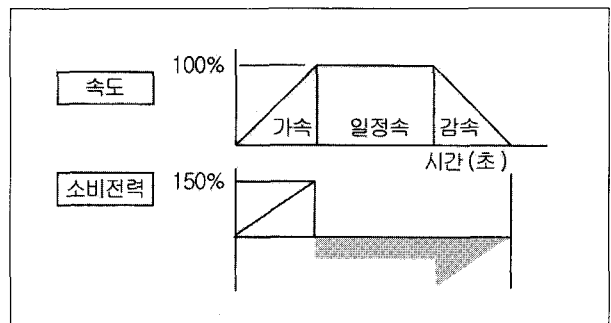
(2) 최고속도로 운전하는 경우

상용운전과 같은 속도라도 일정속도운전중에는 일반적으로 토크에 여유가 있기 때문에 최적여자제어로 전압을 저감시킴으로써 충분한 에너지절약이 가능하다.

다. 減速, 停止時

GD^2 이 큰 부하나 승강용도에서는 감속과 정지시에는 모터에서 회생에너지가 되 돌아온다. 이 에너지를 처리하면 제동토크를 얻을 수 있어 회생제동(回生制動)이 된다.

회생에너지를 방전저항기에서 열로 소비하는 방식과 전원회생컨버터를 통하여 전원측에 회생시키는 방식이




〈그림 7〉 전원회생제동방식의 운전패턴 (승강용도 하강운전시)

〈표 1〉 인버터에 의한 에너지절약의 최신사례

(전력단가 14엔/kW·h로 산출)

용도	인버터 도입 주안점	사용 조건	연간 에너지절약 금액 및 에너지절약률
빌딩용 공조기	<ul style="list-style-type: none"> 2승저감토크 부하이기 때문에 풍량을 적정하게 조정함으로써 큰 에너지절약 효과를 얻을 수 있다. 2승저감토크 패턴을 선택한다. 	15kW 3대, 16h/일 연 300일 가동 풍량 평균 70%	1,663(천엔) 58%
프레스기	<ul style="list-style-type: none"> 대기중에는 플라이휠을 일정속도로 회전시키고, '타발'(打抜) 작업을 할 때는 클러치를 연결하여 '발형'(拔型)을 상하로 움직인다. 대기중에는 큰 토크를 필요로 하지 않기 때문에 최적여자제어로 전압을 낮추어 에너지를 절약할 수 있게 된다. 클러치 연결시의 충격이 적어져 프레스기의 수명이 길어진다. 	11kW 1대 8h/일 연 250일 가동 최적 여자 운전이 된다. 대기시간을 50%	8(천엔) 7.7%
컴프레서	<ul style="list-style-type: none"> 상용전원의 On/Off 제어에 대하여 인버터화로 시동전류를 대폭적으로 제어할 수 있으므로 에너지절약 효과를 얻을 수 있다. 시동시의 충격이 적어져 컴프레서의 수명이 길어진다. 	7.5kW 2대 6h/일 연 250일 가동 10분에 1회 시동, 시동시간 10초	13(천엔) 5.6%
반송대차의 리뉴얼	<ul style="list-style-type: none"> 와전류계수 모터방식에서의 리뉴얼 최적여자제어로 일정속도 중에 모터를 고효율로 운전하기 때문에 에너지절약 효과가 크다 반송물에 맞추어 임의의 속도로 간단히 변경할 수 있다. 	5.5kW 5대 5h 연 250일 가동 가감속 3초 고속 4초 운전	274(천엔) 47%
대용량 환기팬의 리뉴얼	<ul style="list-style-type: none"> GD²이 크기 때문에 상용운전의 스타-델타시동을 그만두고 인버터화함으로써 시동전류를 억제한다. 정지시 상용운전의 Free Run-Stop에 대해 회생제동으로 신속하게 감속정지를 할 수 있게 된다. 시동전류가 저감되기 때문에 전원트랜스의 용량도 저감할 수 있다. 	160kW 1대 8h/일 연 300일 가동 시동시간 360초 1일 1회 시동	67(천엔) 1.5%
자동창고의 승강	<ul style="list-style-type: none"> 승강용에 전원회생제동방식을 채용 방전저항기 방식에 비하여 저항기의 발열분이 에너지절약이 된다. 큰 제동력을 확보할 수 있고 발열이 감소한다. 	30kW 1대 4h/일 연 300일 가동 사용률 40% ED, 가감속 3초	151(천엔) 48%
천장크레인의 주행	<ul style="list-style-type: none"> 권선형모터의 2차 저항제어를 농형모터로 변경하여 인버터화 2차저항기의 발열분이 에너지절약으로 된다. 주회로의 무접점화를 기할 수 있어 메인터너스프리가 된다. 	11kW 2대 3.2h/일 연 200일 가동 사용률 40% ED, 가감속 6초	74(천엔) 42%

있으며, 전원회생방식을 채용하면 방전저항기에서 열로 소비되는 만큼 에너지가 절약된다.


승강용도에서는 하강운전중에 일정속도라도 회생에너지가 발생하기 때문에 저항제동방식에서의 발열(發熱)로 손분(그림 7의  부분)이 전원회생컨버터의 채용으로 에너지가 절약된다.

5. 인버터에 의한 에너지절약의 최신 사례

인버터운전에서의 에너지절약의 최신사례에 대하여 공조 이외의 용도를 중심으로 구체적인 사례의 도입주안점과 효과에 대하여 표 1에 소개한다.

6. 맺음말

이상 인버터운전에서의 에너지절약 및 이용합리화에 대한 고려사항과 새로운 사례에 대해 설명하였다. 공조용도 이외에도 여러 가지 에너지절약의 방법이 있다는 것이 이해되었으리라 생각한다.

또 다른 목적으로 인버터를 채용하였을 경우에 부가가치로서 에너지절약효과를 얻을 수 있으므로 앞으로도 여러 용도에 많이 채용될 것으로 생각된다. 

이 원고는 일본 三菱電機技報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.