

VVVF 인버터 기술과 에너지 절약

최 호 현
(금성 산전 연구소장)

1. 서 론

최근의 진보된 인버터 기술은 유도전동기 속도제어에 급격히 이용되고 있다. 이러한 추세는 1970년대의 OIL SHOCK 이후 에너지 절약 및 생산성 향상의 중요성이 커지면서 시작되었으며 MICROPROCESSOR 및 LSI의 고기능화, 저가격화 그리고 POWER TRANSISTOR의 대전력화에 힘입어 유도전동기 속도제어장치(인버터)는 산업용 설비에 광범위하게 쓰이는 필수요소가 되었다.

또한 제어기술의 발전은 유도전동기 제어성능을 직류전동기와도 견줄수 있게 하였고 사용범위는 한층 넓어지고 있다.

인버터는 표준 MOTOR를 변속시키는 것으로 다른 가변속 MOTOR에 비해 많은 특징을 갖고 있으며 철강 PLANT 등의 대형 공장 설비에서 가정용 에어컨에 이르기까지 사용 목적에 따라 에너지절약, 생산성향상, 품질향상 등의 효과를 얻을수 있다. 인버터 구동의 특징을 살펴보면

- 1) 표준 MOTOR의 변속이 가능하다
기존의 설치된 MOTOR의 변속이 가능
- 2) 연속적인 변속이 가능하다
항상 최적의 속도선택이 가능
- 3) 시동 전류가 작다
전원설비 용량이 작아진다
- 4) MOTOR의 고속화, 소형화, 무보수화
- 5) 가감속 시간 조절이 가능하다.

본 논문에서는 현재 실용화 되어 있는 인버터의 제어방식, 적용분야 및 인버터사용에 따른 에너지 절감효과등에 관해 기술하고자 한다.

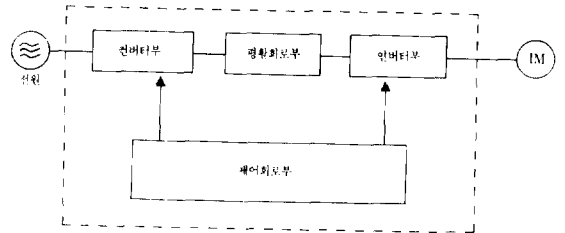


그림 1. 인버터의 기본구성

2. 인버터의 분류

유도전동기를 인버터로 구동하는 경우의 BLOCK도는 그림 1과 같다. 컨버터 부에서는 교류를 직류로 변환하며, 평활회로부에 의해 직류를 평활한후 인버터 부에서 직류를 교류로 역변환 하게 된다.

현재 실용화 되고 있는 인버터는 주회로방식에 따라 전압형, 전류형으로 구분되며 제어방식에 따라 다시 전압제어형과 전류제어형으로 분류된다. 전압제어방식, 전류제어방식은 주회로방식이 전압형, 전류형의 어떠한 경우에도 적용가능하다. 범용성이 있는 인버터(FAN, PUMP, BLOWER CONVEYOR 구동등)의 경우는 출력주파수에 비례하여 출력전압을 제어하는 전압제어방식이 사용되며 고품질(속응제어)을 필요로 하는 용도에는 출력전류를 제어할 필요가 있기때문에 전류제어를 행하게 된다. (NC공작기계, ELEVATOR 구동등) 본 논문에서는 TRANSISTOR TYPE의 전압형 인버터를 중심으로 설명하기도 한다.

3. 인버터의 제어방식

유도전동기를 가변속 하는 경우 전동기의 특성에 따라 공급하는 전압, 전류, 주파수등을 적절하게 제어할 필요가 있다. 인버터는 목표로 하는 가변속 성능과 특성, 용도에 따라 차이가 있게 된다. 제어방식은 표 1에 나타난 바와 같이 크게 OPEN-LOOP 제어와 전동기 속도를 FEED BACK하는 CLOSED LOOP 제어로 나뉘어지며 OPEN-LOOP 제어는 V/F 제어, CLOSED-LOOP 제어는 SLIP 주파수제어, VECTOR 제어로 구분된다. 현재에는 각 제어방식의 인버터가 제품화 되어 있으므로 가변속화의 목적과 용도, 요구 성능에 따라 최적의 제어방식의 인버터 선정이 가능하다.

표 1. 가변속 제어방식의 종류

가변속 제어	OPEN-LOOP 제어 V/F 제어
	CLOSED-LOOP 제어	... SLIP 주파수 제어
		-VECTOR 제어

3. 1. V/F 제어

유도전동기 회전속도는 식 (1) 과 같이 전원 주파수와 극수로 결정된다. V/F 제어는 MOTOR에 가해지는 전원 주파수를 변환시키며 인버터의 출력전압을 동시에 제어함으로써 자속을 일정하게 유지하여 광범위한 가변속 운전에 대하여 전동기의 효율, 역률의 저하없이 속도를 제어하는 방법이다.

$$N = 120 f/p \quad (1)$$

N: MOTOR RPM, f: 주파수, p: 극수

제어회로가 비교적 간단하며 범용성이 있는 인버터(FAN PUMP, BLOWER 등의 에너지 절약 SYSTEM 및 CONVEYER 구동등)에 적용되어 왔으며 최근에는 가정용 냉장고, 에어컨 등의 전기기에도 응용되는 방식이다.

3. 1. 1. 제어원리

유도전동기의 T형 등가회로는 그림 2와 같다. 여자전류 Im은 인덕턴스 M에 흐르게 되어 공극자속 ϕ를 발생시키며 M의 양단에 발생한 유기전압을 E1 이라 하면 다음 식이 성립한다.

$$\phi = M I_m \quad (2)$$

$$E_1 = j\omega_1 M I_m \quad (3)$$

$$= j\omega_1 \phi$$

$$I_2 = E_1 / (r_2/s + j\omega_1 \ell_2) \quad (4)$$

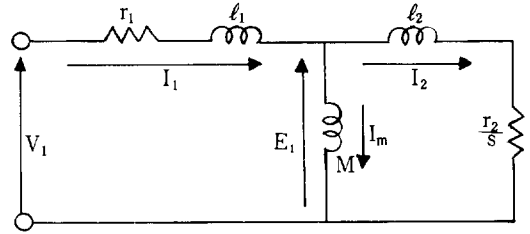


그림 2. 유도 전동기의 T형 등가회로

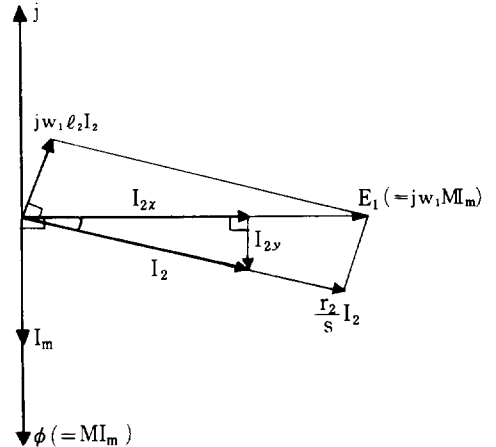


그림 3. 유도 전동기의 VECTOR

여기서 ω1은 1차 각 주파수(= 2πf1)

이상의 관계를 VECTOR도로 표시하면 그림 3과 같다. 이때 전동기 발생 토크 T는 다음과 같다.

$$T \propto \phi * I_{2x} \\ = \frac{\omega_s * r_2}{r_2^2 + (\omega_s * \ell_2)^2} * \left(\frac{E_1}{f_1}\right)^2 \quad (5)$$

여기서 ωs는 SLIP 각 주파수 (= 2πfs)

전동기의 발생 토크는 SLIP 주파수에 의해 결정됨을 알 수 있다. 즉, (3)식에서도 (E1/ω1)을 일정하게 하면 ϕ도 일정하게 된다.

(4)식에서 2차 전류의 실효치를 구하면

$$I_2 = 1/2\pi * \frac{\omega_s}{\sqrt{r_2^2 + (\omega_s * \ell_2)^2}} * (E_1/f_1) \quad (6)$$

여기서 E1/f1을 일정하게 하면 I2도 SLIP 주파수에 의해 결정되게 된다. SLIP 주파수와 토크 그리고 2차전류의 관계를 나타내면 그림 4와 같다.

이상과 같이 전동기 속도를 가변하기 위하여 주파수 f1을 변화시키며 동시에 유기전압 E1이 일정하게 하면 다음과 같은 효과가 얻어진다.

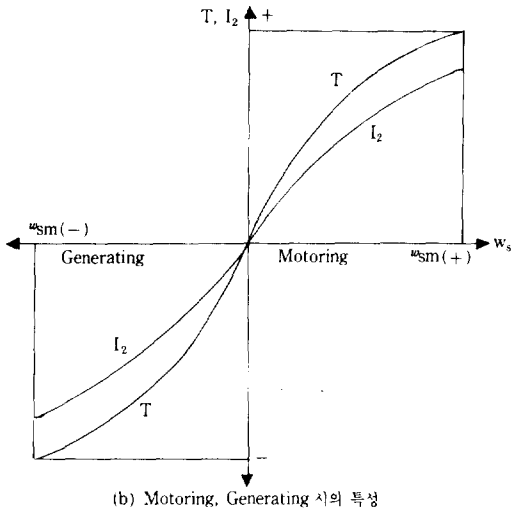
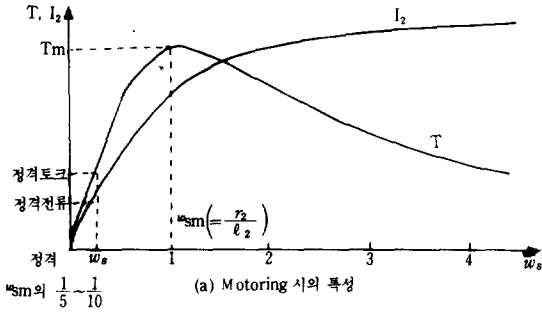


그림 4. SLIP 주파수와 토오크 2차 전류와의 관계

- 1) 공극 자속이 항상 정격치를 유지한다.
- 2) 발생 토오크와 전류가 SLIP 주파수에 따라 결정되며 저속에서 고속까지 발생 토오크와 전류의 관계가 동일하게 된다.

실제에는 유기전압 E_1 은 전동기 내부전압이기 때문에 직접제어가 곤란하며 전동기 단자전압 V_1 을 제어하게 된다. 단자전압 V_1 은 유기전압 E_1 에 대해 1차저항 r_1 과 1차누설 리액턴스 ωL_1 만큼 전압분을 보상해야 된다. 보상전압은 1차전류의 크기, 또 주파수에 따른 저항분과 리액턴스분의 비율이 변화하기 때문에 완전보상이 어려우며 통상 발생 토오크 패턴을 예상한 전압 패턴을 기초로 하여 인버터 출력전압을 제어함에 따라 간단히 E_1/f 일정제어에 근사한 특성을 얻게된다.

그림 5는 이러한 전압 패턴의 예를 나타낸 것이다. 정 토오크부하는 속도에 따라 전류가 일정한 전압 패턴을 사용하며 FAN, PUMP 등의 2승저감 토오크부하는 전류도 속

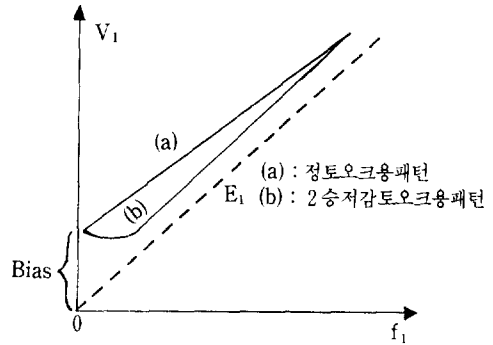


그림 5. V/F 제어의 전압 발생 패턴

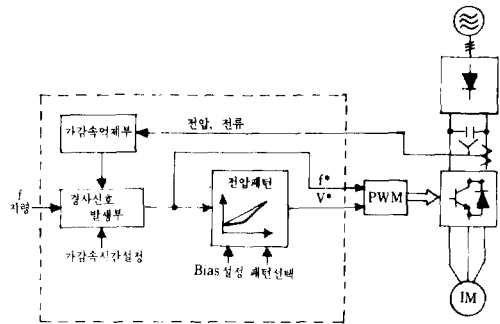


그림 6. V/F 제어의 기본구성

도증가에 비해해야 하므로 보상전압이 상승하는 전압 패턴을 사용한다.

3. 1. 2. 제어구성

그림 6은 V/F 제어의 기본구성을 나타내고 있고 이 경우는 TRANSISTOR 인버터를 사용하는 경우도 전압 패턴 발생부와 가감속시간을 설정하는 경사신호 발생부, 과전류, 과전압에 도달하는 것을 방지하기 위한 가감속 억제부로 구성된다.

3. 1. 3. 특징

- (1) 제어구성상 제어방식이 간단하고 조정요소가 작으며 범용전동기사용이 가능하다.
- (2) 저속영역에서 전압조절이 어려우며(토오크저하) 1:10 정도의 가변속 범위에 사용.
- (3) 토오크제어가 불가능하다.

3.2. SLIP 주파수 제어

전동기 회전속도를 검출하여 인버터의 출력주파수를 전동

기 속도와 SLIP 주파수의 합으로 주어지는 방법으로 토오크와 전류에 직접 관계하는 SLIP 주파수를 자유롭게 제어 할수 있기 때문에 V/F 제어방식에 비해 가감속 특성과 과전류 제한 능력이 우수하다. 또 속도 FEEDBACK을 함으로써 속도제어를 필요로 하는 자동제어 SYSTEM에의 응용이 적합하다. 그리고 속도검출기를 필요로하기 때문에 통상 1대의 인버터로 1대의 전동기를 제어하는 단독운전에 사용된다.

3. 2. 1. 제어원리

V/F 제어와 같이 전동기의 공극자속을 일정하게 제어함으로써 전동기 발생토오크와 전류는 SLIP주파수에 따라 결정된다. 여기에 SLIP 주파수를 제어하는 기능을 부가하여 발생 토오크의 제어가 가능하다.

SLIP 주파수는 전동기에 인가하는 교류전압 주파수와 전동기속도(전기각 주파수)의 차 주파수이므로 전동기에 속도 검출기를 부착하여 전동기 속도를 얻고 원하는 토오크를 발생하도록 SLIP 주파수를 결정하여 인버터 출력 주파수를 조정한다.

SLIP 주파수 제어의 원리는 이상과 같이 V/F 제어를 행하는 경우 전동기 발생 토오크와 SLIP 주파수가 거의 비례 관계가 있는 것에 착안하여 전동기 발생 토오크를 제어하는데 있다. 또한 속도검출이 가능하므로 V/F 제어방식에 비해 안정성이 향상되게 된다.

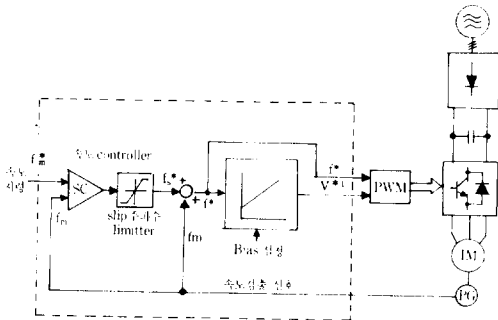


그림 7. SLIP 주파수 제어 기본구성

3. 2. 2. 제어구성

그림 7은 SLIP 주파수 제어기의 기본구성이다. SLIP 주파수 제어는 주어진 속도지령 f_m^* 와 FEEDBACK된 실제 속도 f_m 의 편차를 증폭하여 SLIP 주파수지령 f_s^* 발생시키는 SPEED CONTROL(S.C)부를 가지며 인버터 출력 주파수 f 를 $f_m + f_s^*$ 로 제어 하는것 이외에는 V/F 제어와 동일하다.

S.C는 비례(P) 혹은 비례적분(PI)형의 제어기로 GAIN 설정에 따라 원하는 속도제어 응답을 얻을수 있다.또 SLIP 주파수의 제한에 의해 인버터 허용전류 내의 최대 토오크로 전동기의 가감속 운전이 가능하여 가감속 시간 조정을 행하지 않고 최대시간의 가감속 운전이 가능하다.

가속시는 속도지령 f_m^* 를 증가시켜 속도 FEEDBACK 값 f_m 과의 편차를 발생시켜 +값의 SLIP 주파수 지령치 f_s^* 를 출력시킴으로써 인버터 출력 주파수는 f_m 에 f_s^* 를 가산한 f^* 에 따라 제어되어 가속 토오크를 발생시킨다. 감속시에는 반대로 f_m^* 가 f_m 보다 작게되어 - 값의 SLIP 주파수 지령치를 갖게되어 감속 토오크를 발생시킨다.

3. 2. 3. 특징

- (1) V/F 제어에 비해 SLIP 주파수 제어기능이 부가되어 과전류 제어, 정밀속도제어 토오크제어가 가능하다.
- (2) 저속에서의 전압조정은 V/F 제어와 같이 곤란하나 SLIP 주파수의 제어에 따른 전류제한이 가능하여 사용 속도제어 범위가 넓어진다.

3.3. VECTOR 제어

전동기의 토오크는 회전자 도체에 흐르는 전류와 도체에 대해 수직성분인 자속의 곱으로 표시되는데, 직류전동기에서는 정류자와 브러시에 의해 회전자도체 전류에 의한 기자력이 자속과 토오크 발생 최적 각도인 90°를 유지한다. 또는 전기자 전류와 자속은 상호 간섭없이 독립적으로 제어할 수 있으므로 자유롭게 속도 및 토오크를 제어할수 있다.

벡터제어는 유도 전동기의 1차전류를 자속과 동일 방향 성분(계자전류)과 그것에 직교하는 성분(토오크전류)로 분리 제어함으로써 직류기와 동등한 성능을 발휘하게 된다. 따라서 NC 공작기계, ELEVATOR 등과 같이 급가감속제어, 토오크제어, 정밀속도제어, 위치제어 등이 필요한 부분에 사용된다.

3. 3. 1. 원리

유도 전동기의 내부 결선을 d-q축으로 표현하면 그림 8과 같다. 직류 전동기와 비교하면 I_{1d} 는 계자 전류, I_{1q} 는 전기자 반작용을 제거하기 위한 보상 권선 전류, I_{2q} 는 토오크 발생에 관여하는 Armature 전류이고 I_{2d} 는 직류 전동기에서는 발생하지 않는 성분이다.

그러므로 유도 전동기의 VECTOR 제어를 실현하기 위해서는 항상 $I_{1q} = -\frac{L_2}{M} * I_{2q}$, $I_{2d} = 0$ 을 만족하게 하여 1차

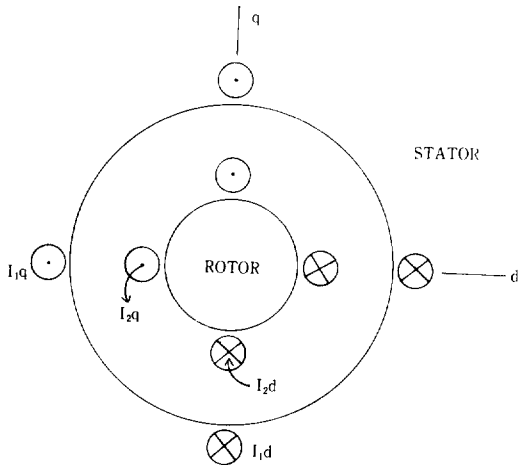


그림 8. d-p축으로 변환한 유도 전동기 내부 결선도

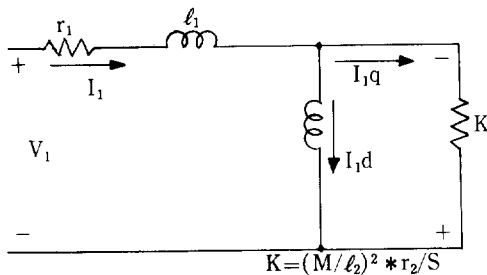
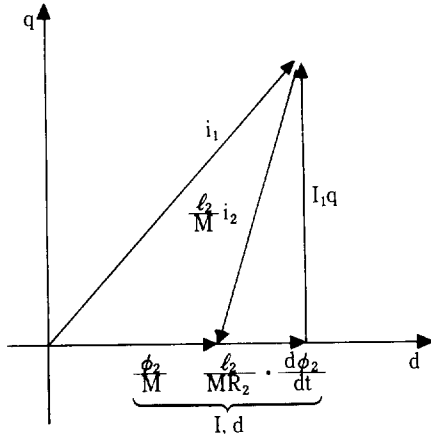


그림 9. 2차 자속 ϕ_2 와 전류의 VECTOR 관계 및 등가회로

자속 전류 I_{1d} 와 1차 토크 전류 I_{1q} 를 서로 비간섭적으로 만들어야 한다. 그림9는 유도 전동기의 2차 자속 ϕ_2 (회전자와 쇠교하는 자속)과 전류의 VECTOR 관계 및 등가회로를 나타낸다.

2차 쇠교자속 ϕ_2 와 동상인 1차 자속성분 전류 I_{1d} 는 ϕ_2 의 크기에 영향을 주고, ϕ_2 와 직교하는 1차 토크 성분 전류 I_{1q} 는 출력 토크 T 및 SLIP 각속도 w_s 에 영향을 주는 성분이다. 즉 ϕ_2 , I_{1d} , I_{1q} , T 및 w_s 에 관해서 다음 관계식이 성립한다.

$$\phi_2 = \frac{M}{1+T_2S} * I_{1d} \quad (7) \quad \ell_2 : 2차 누설 인덕턴스$$

r_2 : 2차 저항

$$T = \frac{M}{\ell_2} * \phi_2 * I_{1q} \quad (8) \quad T_2 : 2차 시정수 (L_2/R_2)$$

M : 상호 인덕턴스

$$w_s = \frac{M * r_2 * I_{1q}}{\ell_2 * \phi_2} \quad (9) \quad S : \text{LAPLACE 연산자}$$

(7)식 및 (8)식에서 주어지는 자속 ϕ_2 및 출력 토크 T가 각각의 지령치를 만족시키도록 1차 전류의 d-q축성분 I_{1d} 및 I_{1q} 를 제어하는 것이 VECTOR 제어의 기본 원리이다. 직류기의 제자전류와 전기자 전류와 같이 I_{1d} 와 I_{1q} 를 각각 분리해서 직접 제어할수 있으면 VECTOR 제어는 쉽게 실현 되지만, 실제로 제어 할수 있는 전류는 1차의 각상 전류 뿐이다. 그러므로 동기 속도로 회전하는 d-q 축 좌표계로 표현된 1차 전류 VECTOR 성분 I_{1d} , I_{1q} 를 직접 제어 가능한 1차 권선 전류의 형태로 변환하는 것이 필요하다.

이 변화는 1차 권선에 대한 ϕ_2 (d축)의 회전위치 θ_0 를 알수 있으면 가능한데 ϕ_2 의 위치 θ_0 를 얻는 수단에 따라서 자속 검출 방식과 슬립 주파수 제어 방식으로 구분할수 있다.

자속 검출 방식은 유도기의 1차 축에서 HALL 소자 등에 의하여 검출된 순시 자속치, 혹은 1차 단자 전압과 SEARCH COIL로 검출한 유기전압 등에서 구해진 순시 자속치로부터 직접 θ_0 를 얻는 방식이다.

슬립 주파수 VECTOR 제어 방식은 종래 부터 사용되어 왔던 슬립 주파수 제어를 확장 시킨 것으로 속도 FEED-BACK에 의해 알수 있는 회전자 위치 θ_r 에 (9)식을 통해 구한 슬립 각 θ_s 를 더하여 θ_0 를 얻는 방식으로 표준 전동기를 사용할 수 있고 저속에서 고속영역까지 전영역에서 고성능 제어가 가능하다.

3. 3. 2. 제어구성

각 BLOCK 별로 주요 기능을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 토크 연산 : 속도 지령과 MOTOR 회전수와의 차이를 PI 제어하여 토크 지령치를 구한다.

- (2) 토오크 전류 연산: 토오크 지령에 의해 토오크 전류를 구한다. ($T=K * \phi * i_2 q$)
- (3) 자속 최대치 연산: 현재의 MOTOR 회전수에서의 최대 자속치를 구한다.
- (4) 자속 억제어: 경부하시의 자기 소음을 줄이기 위하여 자속을 제어한다.
- (5) 자화 전류 연산: 자속에 해당하는 자화 전류를 구한다.
- (6) SLIP 각 주파수 연산: 자속의 크기, MOTOR 정수 토오크 전류를 이용 SLIP 각 주파수를 계산한다.

$$w_s = \frac{M * r_2 * I_1 q}{l_2 * \phi_2}$$

- (7) 적분: SLIP 각 주파수를 적분해서 SLIP 각을 계산한다.
- (8) VECTOR 연산: VECTOR 제어 1차 전류 ALGORITHM을 이용 지령치를 구한다.
 $i^* = I_1 \sin(w_1 t + \theta_0)$
- (9) 전류제어(CC): MOTOR의 실전류를 FEEDBACK 하여 PI 제어기를 통해 1차 전류를 제어한다.

3. 3. 3. 특징

- (1) 종래까지 유도 전동기로 사용시 곤란하던 정밀속도제어, 급속 4상한 운전, 고 토오크시동, 정출력 제어 등을 필요로 하는 분야에 적용가능.

- (2) 직류기에 비해 보수성이 좋고 고속화가 가능한 잇점이 있다.
- (3) 회전자구조가 간단하고 견고하여 신뢰성이 높다.

4. 인버터 적용분야

인버터는 상용전원과 범용 MOTOR 사이에 특별한 제약 조건 없이 설치, 적용됨으로써 사용자의 요구에 맞는 기능을 쉽게 발휘할 수 있다.

따라서 인버터 채용에 의한 효과를 사전에 파악함으로써 최적조건으로 기계 운영이 가능하게 된다.

인버터 채용에 의한 대표적인 효과를 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 생산성 향상: MOTOR RPM의 증속, 변속이 가능
- (2) 에너지 절약: FAN, PUMP 등에 적용되어 부하량에 따른 SPEED 조절이 가능
- (3) 기능/성능의 향상: 변속, SOFT 시동·정지, 원격조작, 동기, 동조운전 및 위치제어 운전이 용이하다.
- (4) MAINTENANCE-FREE: 직결화에 의한 BELT, PULLEY의 제거가 가능하며 무접점화BRUSHLESS 화를 이룬다.
- (5) 150% 시동전류로 시동: 시동기가 불필요하며, 전력절감 및 전원설비의 용량 감소.

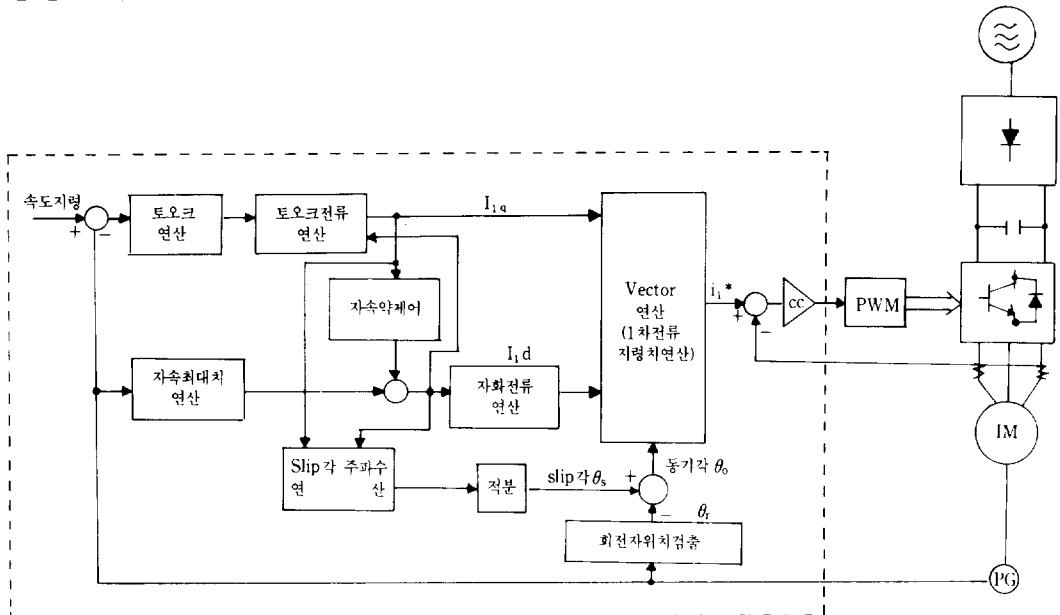


그림 10. VECTOR 제어기의 기본구성

표 2. 기계 장치에의 적용 효과와 적용 예

	생산성 향상	에너지 절약	무단 변속	SOFT 시동/정지	원격 조작	동기·동조 운전	프로세스 제어	위치 제어	고속화	직결화	무접점화	시동전류제한
FAN	○	○		○	○							○
PUMP	○	○		○	○		○					○
COMPRESSOR	○	○		○	○							
CORVEYOR	○		○	○	○			○				○
연마기	○		○							○		
PRESS	○		○									○
CRANE 주행	○			○	○			○				○
공조기		○	○									
NC 공작기계		○	○					○	○			○
원심 분리기			○							○		○
첨유 기계	○	○	○	○		○						

(6) 기계수명 연장 : SOFT 시동·정지 및 과부하 방지 기능이 있음.

(7) 쾌적성 : 압출기의 가변속 운전에 의한 연속적 온도 변화

이상과 같은 효과를 고려한 대표적인 기계장치와의 적용 예는 표 2와 같다.

5. 에너지 절약 용도에서의 응용

에너지 COST의 상승에 따라 전동력 응용 분야에 에너지 절약이 요구됨에 따라 종래 PUMP, BLOWER 등 일정 속도로 운전하며 유체를 제어하는 분야에 인버터를 사용 직접 회전수 제어를 함으로써 에너지 절약 운전을 하는 SYSTEM이 널리 쓰이게 되었다.

이러한 경우는 그림 11에 나타난 바와 같이 종래의 VALVE, DAMPER에 의한 제어수단과 비교 대폭적인 에너지 절약 효과를 얻게 된다. 즉 PUMP와 BLOWER는 일반 정토르크 부하와 달리 토르크가 회전수의 2제곱에 비례하며 소요 동력이 회전수의 3제곱에 비례하는 특징이 있기 때문이다.

5.1. DAMPER 제어와 인버터 주파수 제어

관내의 저항을 증가시킴으로써 공기흐름을 제어하게 되는 것으로 그림 12에 특성을 나타내었다. MOTOR 속도가 N_1 일때 관내저항이 R_1 이고 공기양은 Q_1 이 된다. DAMPER

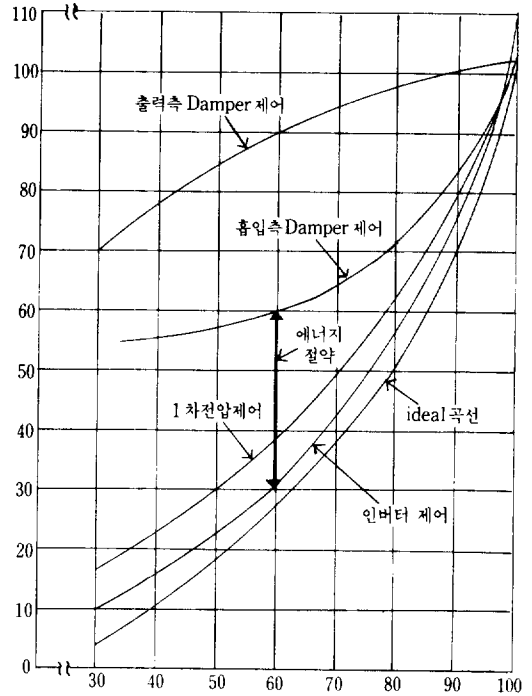


그림 11. BLOWER 운전특성 예(풍량, 회전속도—소요 동력 특성)

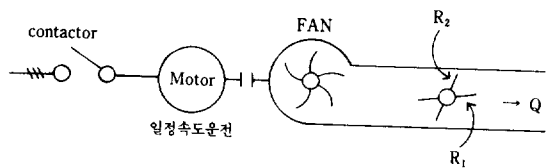
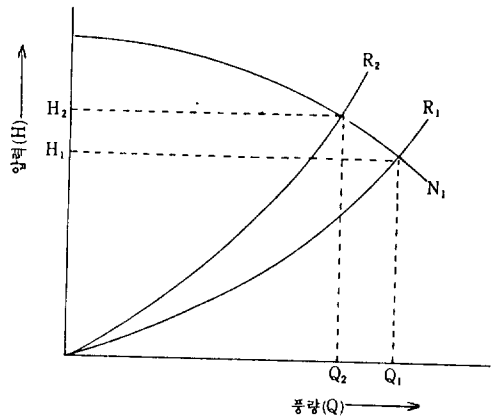


그림 12. DAMPER 제어

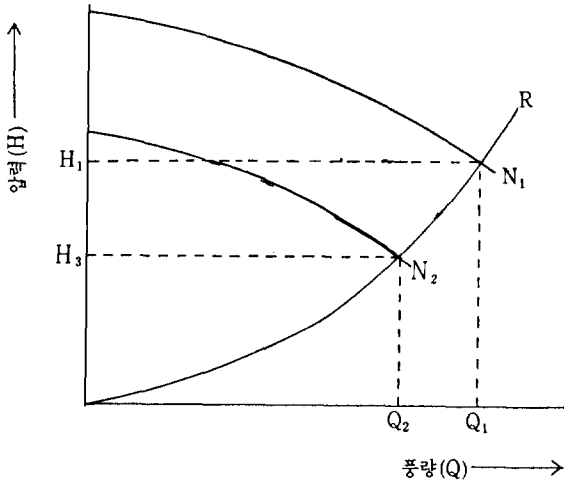


그림 13. 인버터 제어

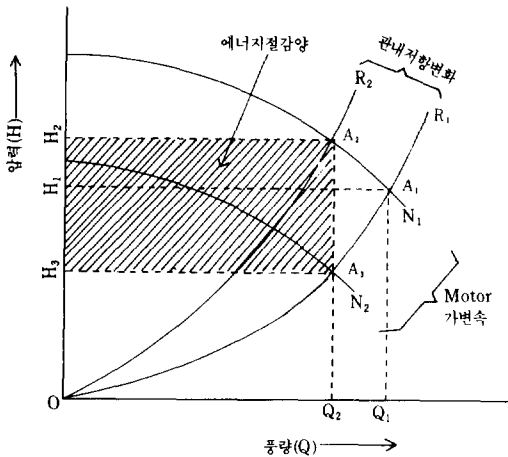
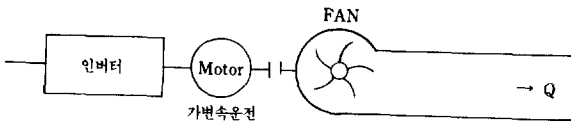


그림 14. 에너지 절감 효과

조절로 관내저항을 R_2 로 증가시키면 공기량은 Q_2 로 감소하지만 압력은 H_1 에서 H_2 로 증가하게 된다.

따라서 축 동력은 공기량 만큼의 감소를 갖지 못하게 된다.

인버터를 사용하는 경우 공기의 흐름은 MOTOR 속도에 따라 조절되게 되며 그림13에 그 특성을 나타내었다. DAMPER가 사용되지 않기 때문에 속도가 N_1 일때 관내 저항은 일정하게 된다. 속도가 N_1 에서 N_2 로 변하게 되면 공기량은 Q_2 로 감소하고 관내압력도 H_1 에서 H_3 로 감소하므로

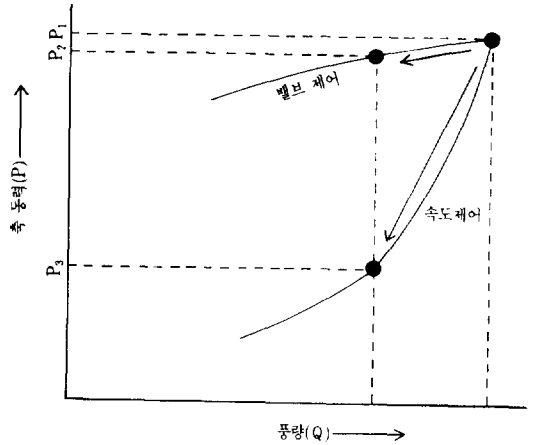


그림 15. 동력 P와 공기량 Q의 특성 CURVE

에너지 절약의 효과를 얻게 된다.

그림14는 DAMPER 제어와 인버터 제어의 특성 비교 CURVE이다.

DAMPER 제어의 경우 소요 축동력은 $(0, Q_1, A_1, H_1)$ 에서 $(0, Q_2, A_2, H_2)$ 로 변하게 되고 인버터 제어인 경우는 소요 축동력이 $(0, Q_2, A_3, H_3)$ 로 변하기 때문에 (H_2, A_2, A_3, H_3) 만큼의 에너지가 절감되게 된다.

필요동력 P와 공기량 Q는 그림15의 특성 CURVE를 갖게 된다.

VALVE 제어인 경우 공기량이 Q_2 로 감소 되어도 동력은 P_1 에서 P_2 로 약간 감소하게 되나 이에반해 속도제어의 경우는 속도 CURVE에 비례하여 감소하게 되며 특히 속도 변동율이 큰 경우는 많은 양의 에너지 절감이 기대된다.

5.2. 정토크 부하의 인버터 주파수 제어

회전속도에 의해 부하의 토크가 거의 변하지는 않는 CONVEYOR 등의 정토크 부하에서도 인버터를 이용한 가변속 운전에 의해 에너지 절약을 꾀할수 있다. MOTOR의 출력 P는 일반적으로

$$P \propto T * N \tag{10}$$

로 표시된다. 여기서 T : 부하토크 N : MOTOR RPM 즉 정토크 부하에서도 인버터를 사용 MOTOR의 회전속도를 저하시키면 MOTOR의 출력은 감소하게 된다.

인버터의 입력 P_{in} 은 다음식으로 표현된다.

$$P_{in} = \frac{P}{\eta_{INV} * \eta_M} \tag{11}$$

여기서 η_{INV} : 인버터 효율 η_M : MOTOR 효율

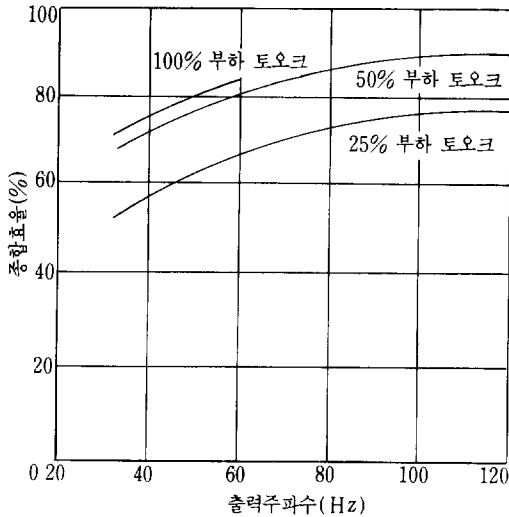


그림 16. 종합효율-출력주파수 특성(22kW)

따라 종합 효율이 대폭 감소하기 때문에 저속운전시의 에너지 절약 효과는 거의 얻을 수 없다. 따라서 그러한 종래의 가변속 방식을 인버터 구동으로 대체하면 충분한 에너지 절약 효과를 얻을 수 있다.

6. 에너지 절약 응용예

그림17은 빌딩의 에어컨 설비에 사용되는 FAN COIL BLOWER를 인버터를 이용하여 제어하는 경우이다. 적용 인버터 용량은 22kW이며 운전 조건은 다음과 같다.

평균풍량 : 여름=90%, 겨울=80%, 봄, 가을=60%

연간 사용시간 : 10시간/일*365일=3650일

동작시간 : 여름=90%, 겨울=75%, 봄, 가을=50%

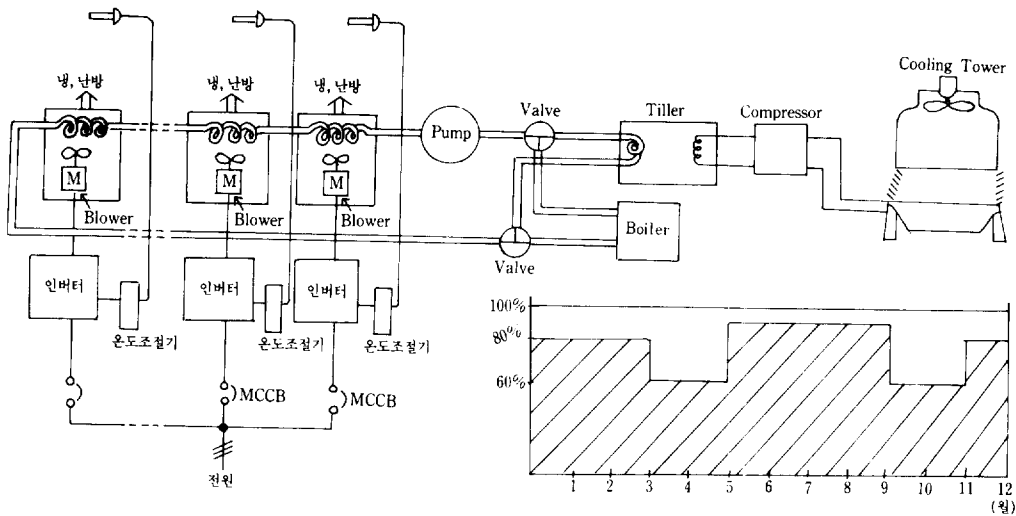


그림 17. FAN COIL용 BLOWER SYSTEM

(II) 식으로 부터 종합 효율($\eta_{INV} * \eta_M$)이 MOTOR의 회전속도에 대하여 일정하다면 입력 Pin은 MOTOR의 회전속도가 저하함에 따른 MOTOR 출력 P에 비례하게 될 것이다.

즉, 소비전력이 감소하게 된다. 그러나 그림 16과 같이 MOTOR의 회전속도를 감소시키기 위해 인버터의 출력 주파수를 저하시키면 종합 효율도 떨어지게 된다. 따라서 실제로 출력 P에 비례하는 만큼 인버터 입력 Pin이 감소하지 않는 경우도 발생한다(저속운전). 그러나 유도 전동기의 1차 전압제어 등의 종래 가변속 방식은 회전속도가 저하함에

(DAMPER 사용시의 소요 동력)

$$P_1 = 22 \{ (0.4 + 0.6 * 0.9) * 4/12 * 0.9 + (0.4 + 0.6 * 0.8) * 4/12 * 0.75 + (0.4 + 0.6 * 0.6) * 4/12 * 0.5 \} * 3650 = 50,482 \text{ kW}$$

(인버터 사용시의 소요 동력)

$$P_2 = 22 \{ (0.9) * 4/12 * 0.9 + (0.8) * 4/12 * 0.75 + (0.6) * 4/12 * 0.5 \} * 3650 = 30,731 \text{ kW}$$

(에너지 절감양)

$$P_1 - P_2 = 19,751 \text{ kW}$$

그림18은 배기 SYSTEM에의 인버터 적용예이다.

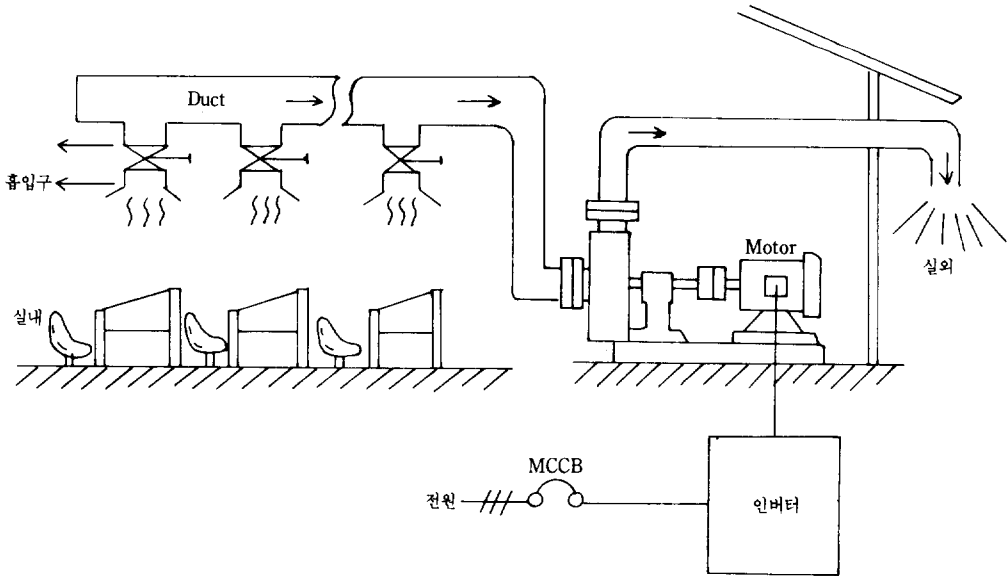


그림 18. 배기 SYSTEM

적용 인버터는 3.7kW이고 운전 조건은 다음과 같다.

평균 연간 풍량 : 60%

운전시간, 동작시간 : 10시간/일, 250일/년

(DAMPER 사용시의 소요 동력)

$$P1 = 3.7 * (0.4 + 0.6 * 0.6) * 10 * 250 = 7,030kW$$

(인버터 사용시의 소요 동력)

$$P2 = 3.7 * (0.6) * 10 * 250 = 5,550kW$$

(에너지 절감량)

$$P1 - P2 = 1,480kW$$

7. 결 론

이상으로 실용화 되어있는 VVVF 인버터에 관하여 알아보았다. TRANSISTOR 인버터는 주 POWER DEVICE 인 TRANSISTOR MODULE과 MICRO COMPUTER, LSI 등의 제어 DEVICE 발달 및 현대 제어이론 등의 새로운 제어이론 도입에 의해 한층 고성능, 다기능화의

추세에 있다. 이러한 기술발전과 더불어 응용 분야도 확대되고 있는데 특히 고효율 인버터용 MOTOR를 사용한다면 에너지 절약 효과도 한층 높아질 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- 1) 上山直彦, 他 : “뉴드라이브 전자트로닉스” 電氣書院
- 2) 吉田太郎, 他 : “이니바타 응용 매뉴얼” 電氣書院 코
- 3) NOBUYOSY MUTO, HIROSHI NAGASE, “HIGH RESPONSE DIGITAL SPEED CONTROL SYSTEM FOR INDUCTION MOTOR” IECON '84 pp. 839—pp. 844
- 4) 見城尙志, 他 : “AC サーボ モータと マイコン制御” 總合電子 出版社
- 5) 野口敏彦, 高 矯勲 : “AC 可變速 드라이브의 技術動向” 東之 Review(42卷 1号)