

인버터의 驅動特性和 적용 요건

김 세 동

한국건설기술연구원 선임연구원

1. 서 언

현재 산업계는 전자기술 및 반도체기술의 급속한 발전으로 自動化, 無人化, 에너지節約化 그리고 시스템화가 급속히 진전되고 있다. 특히 사이리스터(Thyristor)의 용량과 성능의 눈부신 진보는 물론 大容量 電力用 半導體素子の 개발, 制御技術과 集積回路의 발전, 마이크로프로세서 등의 디지털 制御技術의 활용 등으로 전동기 驅動用 인버터(Inverter)는 놀랄만한 발전을 하여 오늘날의 실용화 시대를 맞이하고 있다.

인버터 驅動的 교류 유도전동기는 가격이 저렴하고 구조가 견고할 뿐만 아니라 보수, 점검의 용이, 高速 大容量化, 設置 環境條件의 완화 등의 이점을 갖추고 있어서 종래 직류전동기가 깨다수를 차지하고 있던 可變速 驅動的 응용분야는 대부분 유도전동기로 대체되고 있다. 인버터는 高度의 전동기 制御 理論을 응용하여 통상적으로 마이크로프로세서를 사용하여 制御되고 있다. 따라서 그 우수한 성능이나 기능을 충

분히 발휘시키기 위해서는 動作原理와 特性을 충분히 이해하고 驅動되는 기계장치의 목적이나 용도에 대해서 가장 적합한 기능과 성능의 드라이브 설치를 선택하며, 그 적용방법이나 사용방법을 적절하게 하는 것이 중요하다.

본고에서는 인버터의 構成과 驅動特徵을 검토하고 인버터 운전시의 전동기 특성과 에너지節約 原理, 인버터 適用時 高調波 輕減對策에 대하여 기술하고자 한다.

2. 인버터의 構成과 驅動特徵

인버터는 전기적으로 DC(직류)를 AC(교류)로 변환하는 逆變換裝置이며, 常用電源으로부터 공급된 電力은 유도전동기에 가해지는 전압과 주파수를 가변시켜 전동기의 速度를 制御하는 일련의 장치를 말한다.

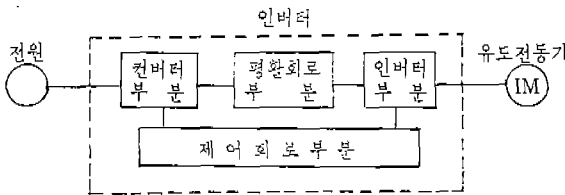
유도전동기를 인버터로 驅動하는 경우 전동기의 磁氣飽和를 피하는 동시에 기동전류를 적당히 억제하고, 또한 필요한 토크를 발생시켜

안전한 운전을 하기 위해서 周波數를 制御하는 동시에 인버터 出力電壓도 制御할 필요가 있다. 유도전동기 驅動用의 인버터를 VVVF 인버터 (Variable Voltage Variable Frequency Inverter : 가변전압, 가변주파수 인버터)라 말한다.

인버터는 主回路方式으로서 전압형 인버터와 전류형 인버터가 있다. 전압형은 電壓源의 직류에서 교류로 변환하는 인버터이고 전류형은 電流源의 직류에서 교류로 변환하는 방식을 말한다. 그리고 인버터의 出力量을 변화시키는 방법으로는 펄스의 振幅을 일정하게 하고 펄스幅을 制御하는 PWM (Pulse Width Modulation) 방식과 펄스幅을 일정하게 하고 振幅을 制御하는 PAM (Pulse Amplitude Modulation) 방식 등이 있다. 여기에서는 汎用으로 사용되고 있는 전압형 PWM 인버터에 대해서 기술한다.

그림 1은 유도전동기를 인버터로 驅動하는 경우의 구성도를 나타낸 것이며 인버터는 主回路部分을 교류전원에서 직류전원으로 변환하는 '컨버터부', 컨버터 부분과 인버터 부분에서 발생하는 電壓 리플(Ripple)을 흡수하는 直流 리액터와 콘덴서로 구성된 '평활회로부', 직류전원을 원하는 주파수의 교류전원으로 변환하는 '인버터부'로 구성된다.

그리고 가변전압, 가변주파수의 전원을 유도전동기에 공급, 主回路部에 制御信號를 부여하는 회로로서 제어회로가 있으며 제어회로는



<그림 1> 인버터의 기본회로 구성도

외부로부터의 速度·토크 등의 指令과 檢出回路로부터의 전류·전압신호를 비교연산하고 인버터의 출력 주파수·전압을 결정하는 '演算回路', 主回路部에서 전압·전류를 검출하는 '電壓/電流 檢出回路', 연산회로로부터 제어 신호를 증폭하여 주회로 소자를 온·오프하는 '驅動回路', 주회로의 전류·전압 등을 검출하고 過負荷나 過電壓 등의 이상시에 인버터 및 유도전동기의 破損을 방지하기 위해 인버터를 정지시키거나 또는 전압이나 전류값을 制御하는 '保護回路'로 구성된다.

이와 같이 구성된 인버터는 전동기에 가해지는 전압과 주파수를 可變시켜 전동기 속도를 制御하는 可變速 드라이브장치로서 유도전동기 제어의 주류를 이루고 있으며 다음과 같은 인버터 驅動의 특징을 갖고 있다.

① 標準電動機의 變速기능

연속적인 변속이 용이하며 부하변동에 대한 적응성이 우수하고 최적 운전속도의 선택이 가능하다.

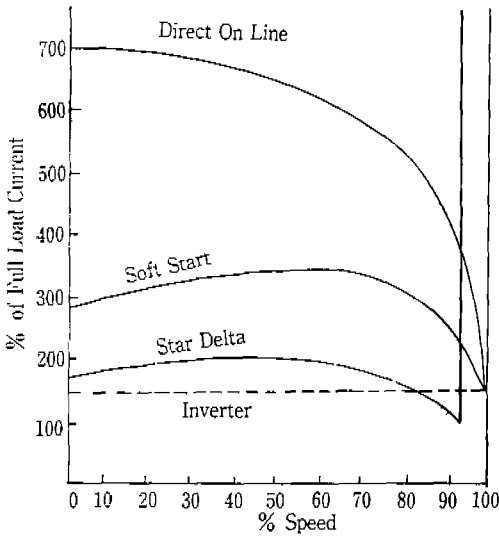
② 加減速時間(Soft Start/Stop) 設定기능

일반적으로 유도전동기는 기동시에 정격전류의 5~7배의 기동전류가 흐르며 加速함에 따라서 점차 전류가 감소하여 마침내는 운전전류로 안정하게 되는데 기동시의 기동전류를 줄이기 위해서 전동기의 加減速時間(0.06~1800초)을 조정하여 起動/停止할 경우 기동전류를 그림 2와 같이 크게 줄일 수 있을 뿐만 아니라 배선 설비 및 전원설비용량을 적정화하여 初期 施設 投資費의 절감을 기대할 수 있다.

또한 인버터를 이용한 加減速變速時, 전전압 기동에 비교하여 전동기와 기계에 주는 충격을 줄일 수 있고 전동기와 機械系의 수명, 軸類 (Shaft)의 수명도 연장시키는 효과도 있다.

③ 制動기능

상용전원에서의 정지는 機械系의 慣性(전동



<그림 2> 기동방식별 기동전류의 특성

기와 부하의 GD^2 과 부하의 토크 특성에 따라 減速하게 된다. 그러나 인버터 운전의 경우에는 V/f 制御를 행하면서 減速 停止하게 되며 인버터의 출력 주파수를 내리면 전동기는 再生制動토크를 발생시키게 되고 이 再生에너지는 전동기의 勵磁損失로 소비되며 이때의 制動토크는 20% 정도가 된다. 이와 같이 인버터를 이용하여 전동기를 減速停止하면 制動토크가 얻어지기 때문에 상용전원에서의 機械的 慣性에 의한 정지보다 減速時間을 단축할 수 있다.

3. 인버터 運轉時의 전동기 특성

유도전동기는 固定子捲線에 흐르는 전류에 의하여 생기는 回轉磁界와 이것에 의하여 回轉子捲線에 유도되는 기동력에 의해 흐르는 유도전류 사이에 발생하는 電磁力을 이용한 전동기이다. 유도전동기는 기계적 구조가 간단하고 견고하며 直流機와 같은 브러시가 없기 때문에 보수하기가 쉽고 또 가격이 저렴하여 산업용 전동기로서 가장 널리 적용되고 있다. 공장 등

에서 사용되는 動力用 전동기는 대부분이 3상 유도전동기이다.

일반적으로 유도전동기의 回轉子가 큰 回轉力으로 회전하려면 磁石이 기계적으로 회전하는 대신에 전기적으로 회전하는 回轉磁場이 반드시 필요하다.

回轉磁場은 3상 交流波形의 1주기(사이클)마다 $\frac{1}{p/2}$ 회전하게 되므로 주파수 f (Hz)에 대한 回轉磁場의 회전수 N_s 는 다음과 같다.

$$N_s = \frac{2 \times 60f}{p} = \frac{120f}{p} \text{ [rpm]} \quad (1)$$

N_s : 회전자계의 도는 속도를 나타내는 동기 속도

p : 전동기의 극수

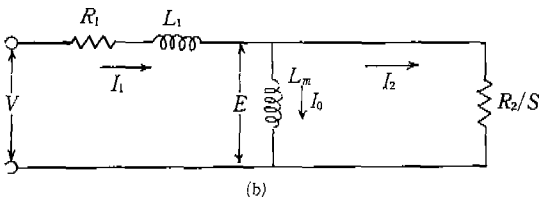
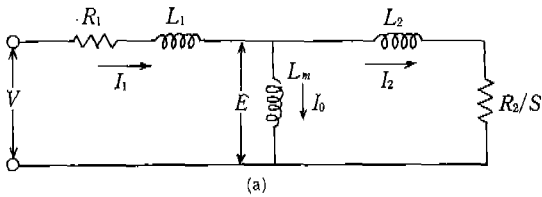
따라서 인버터에 의하여 可變速制御를 한다는 것은 식 (1)에 의해서 주파수(f)를 가변시켜 同期回轉數(N_s)를 변화시키는 것이다.

이와 같이 標準電動機는 전동기에 가해지는 주파수를 가변시키면 속도가 변화하지만 토크를 정상적으로 운전시키기 위해서는 회전수가 변화하여도 전동기의 發生토크가 일정해야 하며 또한 전류도 定格電流值 이내로 유지하는 것이 요구된다.

따라서 유도전동기의 단자전압(V)과 주파수(f)와의 비율, 즉 V/f 비를 일정하게 유지함으로써 유도전동기의 勵磁電流를 일정하게 유지할 수 있고 또한 유도전동기의 磁束을 일정하게 유지함으로써 토크 一定特性이 얻어진다.

다음은 유도전동기의 단자전압(V)과 주파수(f)의 비율을 일정하게 제어하는 V/f 制御에 대해서 검토한다.

그림 3(a)는 유도전동기 1상(Phase)의 T형 等價回路를 나타낸 것이며 (a)의 等價回路에서 2차 임피던스 L_2 는 무시할 수 있을 정도로 매우 작으므로 그림 3(b)와 같이 간략화할 수 있다.



R_1 : 1차 저항 V : 단자전압
 R_2 : 2차 저항 E : 내부 유기전압
 L_1 : 1차 누설 인덕턴스 I_1 : 1차 전류
 L_2 : 2차 누설 인덕턴스 I_2 : 2차 전류
 L_m : 여자 인덕턴스 I_0 : 여자 전류
 S : 슬립

<그림 3> 유도전동기의 T형 등가회로

그림 3 (b)에서 유도전동기의 勵磁(Exciting) 電流 I_0 는

$$I_0 = \frac{E}{2\pi f L_m} \quad [A] \quad (2)$$

空隙磁束은

$$\phi = L_m I_0 = L_m \frac{E}{2\pi f L_m} = k \frac{E}{f} \quad [Wb] \quad (3)$$

$$(k = \frac{1}{2\pi})$$

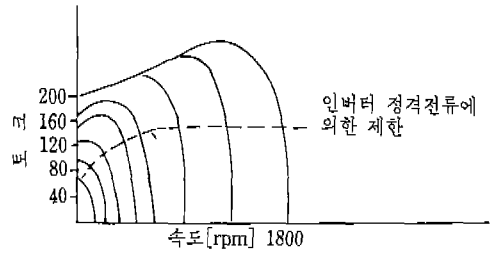
가 된다.

일반적으로 유도전동기 出力토크 T 는 2次電流 I_2 와 空隙磁束 ϕ 와의 곱에 비례하므로 다음과 같이 표시된다.

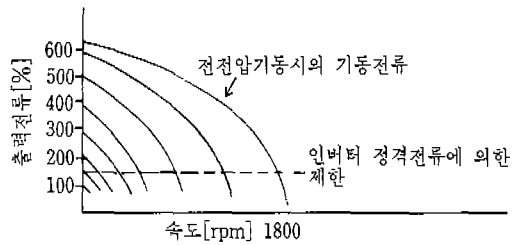
$$T \propto I_2 \times \phi = I_2 \times k \frac{E}{f} \quad [kg \cdot m^2] \quad (4)$$

여기서 1차 임피던스 降下는 단자전압에 비해 매우 적으므로 $V=E$ 가 성립되며 토크(T) 와 消費動力(P) 는 다음과 같다.

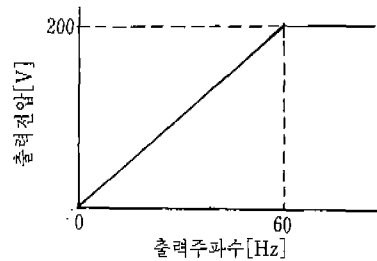
$$T = I_2 \times k \frac{V}{f} \quad [kg \cdot m^2] \quad (5)$$



(a) 속도 토크



(b) 속도-출력전류



(c) 출력전압-출력주파수

<그림 4> V/f 제어와 전동기의 토크특성 · 기동전류 특성

$$P = 9.8 \times 2\pi \times \frac{n}{60} \times T \times 10^{-3} \quad [kW] \quad (6)$$

따라서 그림 4(c)와 같이 전동기에 가해지는 주파수(f)와 전압(V)을 동시에 변화시키면 同一電流値에서 同一 토크가 발생되므로 일정한 토크의 可變速運轉이 가능하며 이를 V/f 一定制御라 한다.

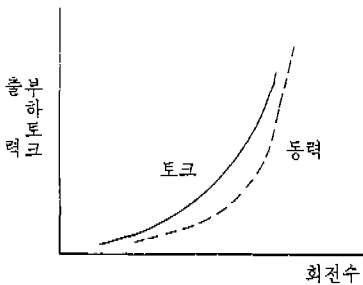
V/f 일정제어를 행할 경우 각 주파수에 있어서 전동기의 토크특성과 기동전류특성은 그

림 4(a)(b)와 같다.

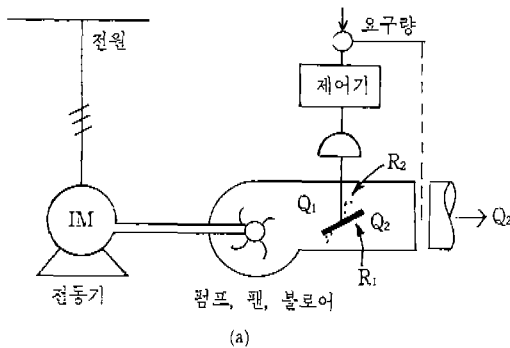
4. 인버터 適用으로 인한 에너지 節減原理

가. 2乘低減토크 負荷

일반동력의 70% 이상을 차지하고 있는 펌프나 팬, 블로어 등은 일반적으로 負荷 토크가 速度低下와 더불어 감소하는 2乘低減토크특성을 가진 負荷이다. 다시 말해서 2승저감토크 負荷는 回轉數가 낮아지면 負荷를 驅動시키기 위한 토크도 작아지는 負荷로서 그림 5와 같이 負荷의 토크가 회전수의 2승에 비례하고($T \propto N^2$),



<그림 5> 2승저감 토크부하의 특성



<그림 6> 댐퍼·밸브 제어의 흐름도와 제어 특성

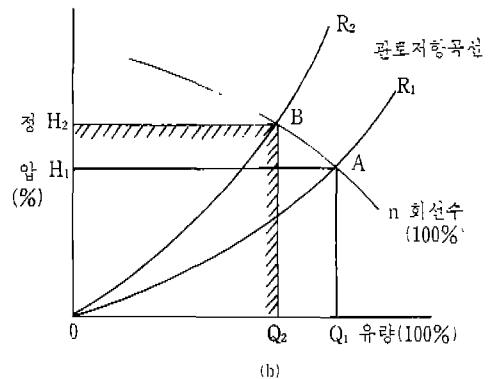
動力은 회전수의 3승에 비례하는($T \propto N^3$) 특성을 갖고 있으므로 이러한 負荷에 인버터를 적용하면 에너지절약 효과가 크다. 종래에는 전동기를 일정 속도로 운전하고 댐퍼나 밸브로 풍수량을 제어하였으나 인버터 적용시에는 필요한 풍수량에 따라 전동기의 회전속도를 제어함으로써 큰 전력절감의 효과를 얻을 수 있다.

나. 댐퍼, 밸브制御時와 인버터制御時의 所需동력 비교

2乘低減토크 負荷를 制御하는 것은 결국 流量을 制御하는 것이라 볼 수 있으며 流量을 制御하는 방법에는 전동기를 정격속도로 운전하고 댐퍼나 밸브로 제어하는 방법과 인버터를 이용하여 전동기를 可變速 制御하는 방법이 있다. 이 두 가지 방법의 制御特性和 所要動力을 비교하면 다음과 같다.

(1) 댐퍼 밸브에 의한 流量制御

그림 6은 댐퍼 또는 밸브에 의한 유량 제어의 흐름도 및 특성곡선을 나타낸 것인데 전동



기는 정격속도로 회전되므로 속도특성곡선 n 은 항상 일정하며 유량을 Q_1 에서 Q_2 로 줄이기 위해서는 비례적으로 댐퍼 또는 밸브를 닫아야 한다. 이때 관리저항곡선 R_1 은 流體의 摩擦抵抗에 의해 流量의 2승에 비례하여 R_2 로 변하게 된다. 다시 말해서 流量을 Q_2 로 낮추기 위하여 댐퍼나 밸브開度を 줄이면 管路抵抗이 증가하여 정압은 H_2 로 상승하게 된다.

그림에서 流量의 변화에 따른 管路抵抗曲線과 속도특성曲線과의 교점은 A 에서 B 점으로 이동되고 流量을 감소시켰을 때의 소비동력은 OH_1AQ_1 에서 OH_2BQ_2 로 변화한다.

댐퍼, 밸브에 의한 流量制御시의 所要 軸動力 P_1 은 다음과 같이 계산되며 유량을 아무리 감소시켜도 40% 이상의 動力은 소요된다.

$$P_1 = (0.4 + 0.6Q) P_0 [kW] \quad (7)$$

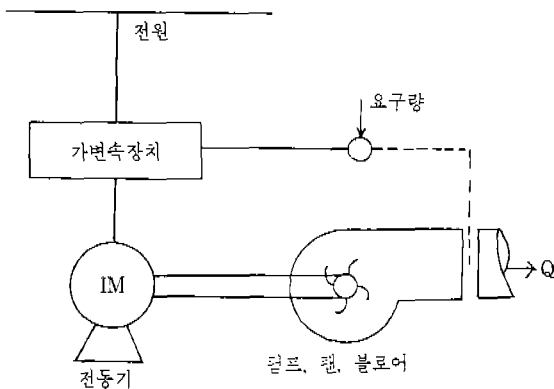
여기서 Q : 유량비 (Q_2/Q_1)

P_0 : 전동기의 출력 [kW]

P_1 : 소요 축동력 [kW]

(2) 可變速制御

그림 7은 인버터에 의한 가변속 제어의 흐름도 및 제어 특성



률도 및 특성곡선을 나타낸 것인데 유량조정용 댐퍼가 없기 때문에 管路抵抗曲線 R_1 은 항상 일정하며 송풍기의 특성곡선은 回轉速度에 따라 변하게 된다.

그림에서 속도의 변화에 따른 특성곡선과 관로저항곡선의 교점은 A 에서 C 점으로 이동되고 流量은 Q_1 에서 Q_2 로 감소하는 동시에 정압은 H_1 에서 H_2 로 떨어진다. 이때 軸動力은 OH_1AQ_1 에서 OH_2CQ_2 로 대폭 감소하게 된다.

인버터에 의한 유량 제어시의 所要 軸動力 P_2 는 다음과 같다.

$$P_2 = Q^3 P_0 [kW] \quad (8)$$

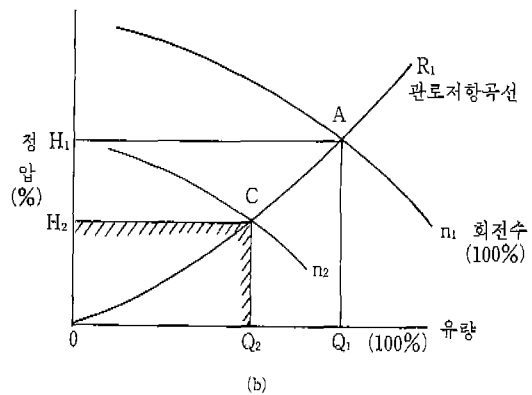
(3) 에너지 節減

앞에서 검토한 바와 같이 인버터를 이용, 가변속제어시는 댐퍼나 밸브에 의한 유량제어시보다 다음과 같이 에너지절감을 도모할 수 있다.

에너지 절감량은

$$P_3 = P_1 - P_2 [kW] \\ = (0.4 + 0.6Q) P_0 - Q^3 P_0 [kW]$$

가 된다.



<그림 7> 가변속 제어의 흐름도 및 제어 특성

일례로 전동기용량을 10kW, 유량비를 70%로 제어할 경우 소비전력의 절감량은 다음과 같다.

$$P_3 = (0.4 + 0.6 \times 0.7)10 - (0.7)^3 \times 10 \\ = 8.2 - 3.45 = 4.77 [\text{kW}]$$

다음은 연간 에너지절감액을 산출하는 방법을 나타낸 것이다.

- 펌프, 밸브제어시의 연간 소비전력량 :
소요 축동력 × 연간 가동일수 × 일일 운전시간 = 연간 전력량 (kWh/year)
- 인버터 제어시의 연간 소비전력량 :
(유량비 = 개도율)³ × 동력 / 인버터 효율 × 일일 운전시간 × 연간 가동일수 = 연간 전력량 (kWh/year)
- 에너지절감액 :
= (사용운전시 전력량 - 인버터운전시 전력량) × 전력요금 [원]

5. 인버터 適用時 고려 요건

일반적으로 건물설비나 산업설비에 있어서 電氣에너지의 3분의 2 이상이 전동기 驅動에 사용되고 있으며 그 중 대부분이 유도전동기임을 생각할 때 유도전동기 驅動 시스템의 效率改善은 에너지의 관점에서 매우 중요하다.

따라서 앞항에서 설명한 바와 같이 팬·펌프 시스템에서 전동기의 速度를 可變速함으로써 펌프나 밸브에 의한 流量·風量의 制御에 비해 輕負荷時 정격에 대해 수십 %의 에너지를 節約할 수 있다.

그러나 이와 같은 에너지節減 효과를 도모하기 위해서는 인버터의 動作原理와 驅動特性을 충분히 이해하고 驅動되는 기계장치의 목적이나 용도에 대해서 가장 적합한 기능과 성능의 드라이브장치를 선택하며 그 적용방법이나 사용방법을 적절하게 하는 것이 매우 중요하다.

다음은 대표적인 負荷를 가변속 운전할 경우

유의해야 할 사항에 대하여 검토하고자 한다.

가. 펌 프

① 최저회전수

펌프의 特性과 필요 揚程 및 管路抵抗을 고려한 운전가능한 최저회전수를 결정한다.

② 저주파수 운전시의 펌프 效率

펌프의 能力을 표시하는 Q-H 特性曲線은 상용주파수 운전시의 能力을 나타내고 있는 것이 대부분이다. 따라서 流量低減을 목적으로 저속 운전하는 경우에는 펌프 공급업자로부터 전동기의 회전수를 패러미터로 한 Q-H 特性曲線을 입수하여 인버터 容量을 검토하는 것이 바람직하다.

③ 負荷의 토크特性

일반적으로 펌프의 負荷·토크 特性은 2乘低減토크 特性이지만, 流體의 粘度가 높게 되면 定토크 特性에 가깝게 됨을 유의해야 한다.

나. 팬 및 블로어

① 가속·감속시간

팬 및 블로어는 기계적 관성이 크기 때문에 짧은 시간에 가속 또는 감속시간을 지정할 경우에는 특히 다음 사항을 주의해야 한다.

- 가속시간 지정 : 큰 加速토크를 필요로 할 경우에는 전동기 용량과 인버터용량의 검토가 필요하다.

- 감속시간 지정 : 回生에너지가 크므로 回生 電力 放電回路 및 機械의 브레이크 등 制動裝置의 채용을 검토한다.

② 增 速

定格周波數 이상의 주파수에서 운전하는 경우에는 전동기 및 팬의 기계적 강도와 전동기 및 인버터용량을 검토한다.

다. 컨베이어

① 起動토크

컨베이어의 起動토크는 靜摩擦토크가 크고 또한 컨베이어의 起動條件(기동시의 운반물의 有無)에 의해 크게 좌우되기 때문에 전동기 및 인버터의 선정시 주의가 요구된다.

② 負荷特性

컨베이어는 定토크負荷이므로 전동기의 冷却 및 인버터의 용량선정에 주의가 요구된다.

라. 昇降機

① 上昇時

-인버터 驅動時的 起動토크에 유의한다.

10% 전압강하시의 전동기 起動토크 > 규정의 過荷重時的 負荷토크 + 加速토크

-機械的 브레이크의 채용과 動作 타이밍

-回生電力의 검토와 대책

-인버터容量은 起動토크의 확보와 機械的 브레이크에 의한 전동기 拘束時的 電流對策을 위해서 전동기 標準 適用容量보다 1~2급 정도 큰 것을 채용한다.

-Trolley 線의 離線防止를 위해 二重 Trolley 線을 채용하는 것이 바람직하다.

② 橫行·走行用

-荷振 방지를 위해 가속·감속시간의 설정에 유의한다.

-制動時 回生電力의 검토와 대책

-Trolley 線의 離線防止를 위해 二重 Trolley 線을 채용하는 것이 바람직하다.

6. 인버터의 高周波 輕減對策

유도전동기의 광범위한 可變速 特性을 얻기 위해서 인버터의 사용은 필수적인데 인버터는

직류전원을 半導體 素子에 의하여 온·오프하여 交流를 얻으므로 필연적으로 高周波 전류를 발생시킨다. 인버터가 발생하는 高周波 成分의 유도전동기에의 영향에 관해서는 많은 연구가 진행되어 왔다.

전압·전류의 高周波 成分은 전동기의 發生 토크에 리플 成分을 포함시킴으로써 시스템 不安定の 원인이 되기도 하며 PWM 인버터 적용시 高次數의 高周波 成分의 表皮效果에 의한 저항증가로 인하여 回轉子 導體가 과도히 가열되는 수가 있다.

따라서 인버터의 高周波에 의한 여러 가지 障礙를 미연에 방지하기 위해서는 원칙적으로 發生源(인버터)에서 高周波를 억제하여야 한다. 그러나 현재의 기술수준으로 發生高周波를 완전히 없애기는 어렵기 때문에 당장은 高周波 發生측이나 高周波障礙를 받는 器機측에서 협조하여 시스템 전체로서 경제적, 기술적으로 가장 효과적인 대책을 실시하지 않으면 안된다.

(1) 發生機器側에 있어서의 대책

① Earth 線

전동기 및 인버터의 Earth 線은 고주파에서도 低임피던스로 할 필요가 있다.

② Radio Noise 低減用 리액터의 挿入

인버터의 入力線을 3相 일괄로 하여 周波數 特性이 좋은 코어에 감으면 전원측의 영상임피던스가 증대하므로 고주파전류가 저감된다.

③ 금속관 配線

인버터의 出力配線을 금속관 配線으로 하고 이것을 接地시키면 輻射 Noise가 대폭 저감된다. 또 誘導에 대해서도 유효한 수단이 된다.

(2) 被害器機側의 대책 및 주의점

① 4~20mA의 計測信號線의 경우

4~20mA의 信號線은 반드시 인버터의 出力配線과는 분리하여 설치하는 것이 중요하다. 4~20mA 信號線은 일반적으로 실드線을 사용하지 않던 장거리 配線에는 실드線을 통해 고주파전류가 흐르기 때문에 실드 效果가 약하게 된다.

配線의 交叉나 短距離의 並行配置 등에 의해 노이즈의 영향이 남아 있을 때 信號 Line의 끝 부분에 Filter를 넣는 방법이 있다. Filter 방식은 L-C形이 가장 유효하며 遮斷周波數를 10 kHz 정도로 선정한다. 또한 간단한 방법으로 단지 C를 접속하는 것만으로도 효과가 있다.

② Sensor 信號線

Sensor 信號線은 매우 미약한 信號로 되어 있기 때문에 센서용 Amp는 될 수 있는 한 센서 가까이에서 설치하고 노이즈의 영향을 피하는 것이 중요하다.

③ Earth 線

計測器機 및 信號線 Shield의 Earth는 인버터 및 전동기의 Earth와 분리하여 접속할 필요가 있다.

(3) 전동기에의 영향과 대책

① 전동기 소음

인버터는 트랜지스터를 高速으로 스위칭시켜 교류전압을 만들어 내기 때문에 전동기의 磁氣 흡이 발생한다. 특히 騒音을 피해야 하는 장소에서 사용하는 경우 인버터와 전동기 사이에 騒音低減用 리액터를 사용함으로써 騒音을 저감시킬 수 있으며, 소음은 5dB 정도 줄일 수 있다.

② 전동기의 損失

인버터로 전동기를 驅動하는 경우 전동기의 入力電流에 高周波가 약간 포함되어 있다. 이 高周波電流에 의해 電動機損失이 3~5% 정도

증가한다. 그러나 連續 出力토크를 약간 저감하여 사용하면 전체적인 문제가 없다.

6. 맺음말

전동기의 速度制御를 위하여 인버터를 사용할 경우 전압과 주파수를 전동기 負荷에 따라 적절히 制御함으로써 最大 效率點에서 운전할 수 있는 可變速 드라이브장치로서 유도전동기 制御의 주류를 이루고 있으며, 유지보수 기능면에서 우수하고 높은 制御성과 에너지節約面에서 뛰어나며 半導體 素子の 개발에 따라 가격도 저렴해져 앞으로 VVVF의 보급이 증가될 전망이다.

그러나 인버터의 우수한 성능과 기능을 충분히 발휘시키기 위해서는 그 動作原理와 特性을 충분히 이해하고 적용하여야 높은 制御性能과 에너지 節減 效果를 기대할 수 있다.

펌프를 가변속제어할 때에는 펌프 特性과 必要揚程 및 管路抵抗을 고려한 운전 가능한 最低周波數, 低周波數 운전시의 펌프 效率, 負荷의 토크特性 등에 유의해야 한다. 그리고 팬이나 블로어를 가변속제어시에 기계적관성이 크고 짧은 시간에 加減速을 요하는 경우에는 특히 전동기용량과 인버터용량의 검토가 필요할 뿐만 아니라 減速時 回生電力 放電回路 및 機械의 브레이크 등의 制動 裝置의 採用 검토가 필요하다.

<참고문헌>

1. 장승식, 인버터 응용 메뉴얼, 기다리출판, 1990.
2. 금성인버터메뉴얼, 금성산전, 1991.
3. 久保島毅, インバータ導入實戰ガイド, 電氣書院, 1990.
4. "Soft Starters for Standard AC Induction Motors", Control Techniques, 1991.