

마이컴을 이용한 電動機制御裝置

1. 머리말

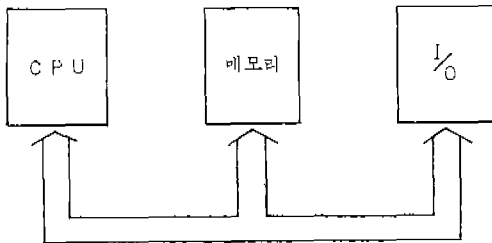
1971년에 인텔社에서 第1世代의 마이크로컴퓨터라고 하는 원칩 中央處理유닛(CPU)이 발표된 이후 大規模集積回路(LSI)의 발달에 따라 보다 高機能, 高速화된 마이크로컴퓨터가 발표되고 있다. 이에 따라 마이크로컴퓨터의 利用形態의 進歩도 현저하게 나타났고 家庭電氣品, 게임 등 日常生活에서 많이 사용하는 製品을 비롯하여 모든 分野의 製品에 應用되기에 이르렀다.

電動機 制御裝置의 分野에서도 例外는 아니었고 마이컴應용이 注目되고 종래의 하이드웨어로 구성하면 複雜하고 곤란한 制御裝置의 實用化라든지 보다 高機能의 制御裝置의 개발을 위하여 마이컴이 사용되게 되었다. 여기서는 誘導電動機의 可變速 制御裝置에의 마이컴應용의 紹介를 中心으로 電動機 制御裝置에서의 마이컴의 역할에 대하여 說明한다.

2. 마이컴應용分野

2-1 마이컴應용의 利點

마이컴은 그림 1과 같이 各種 論理演算이나 數值演算 및 메모리나 I/O를 制御하는 機能을 가진 CPU와 프로그램 및 演算結果나 定數를 記憶하는 메모리와 外部 信號와의 入出力을 실시하는 I/O로構



(그림-1) 마이컴의 構成

成된다.

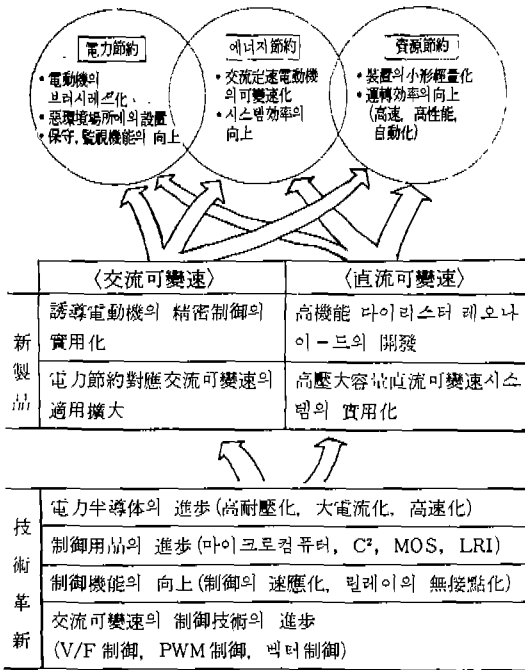
마이컴의 利點은 基本的으로 같은 構成의 回路를 베이스로 目的에 따른 프로그램에 의하여 다양한 용도에 適用된다는 점에 있다. 따라서 大量生産과 LSI에 의하여 값이 저렴하고 信賴性이 높은 하이드웨어로 裝置를 構成할 수 있다. 마이컴의 應용으로 裝置의 設計는 종래의 部品을 어떻게 接續할 것인가의 하이드웨어 中心의 設計에서 프로그램을 어떻게 할 것인가의 소프트웨어 中心의 設計로 되었다. 이로 인하여 종래에 하이드웨어에 의하여 制限을 받고 있던 裝置의 性能이 보다 高度의 機能을 발휘하게 되었고 앞으로 더욱 발전되어 나갈 것으로 期待된다.

2-2 마이컴應용의 技術動向

그림 2에 電動機制御技術의 技術動向을 들었다. 電動機制御技術은 마이컴이나 電力半導體의 進歩를 비롯한 技術革新에 의하여 直流可變速이나 交流可變速의 分野에서 新製品이 生産되어 電力의 節約, 에너지節約, 資源節約을 期하여 보다 높은 生産性的 向上을 追求하는 産業界의 要求에 부응하고 있다. 여기서는 直流可變速과 交流可變速에서의 마이컴應용의 技術動向에 대하여 說明하기로 한다.

(1) 直流電動機의 制御技術

可變速制御가 되는 電動機는 종래로부터 制御가 簡單하고 매우 우수한 運轉 特性을 얻을 수 있는 直流電動機가 사용되어 왔다. 直流電動機는 界磁捲線이 分離되어 있으므로 磁束(界磁電流)과 토크(電機子電流)를 任意로 制御할 수 있으며 精密한 速度制御나 定出力制御 등 高度의 制御方式이 實用化되고 있다. 따라서 모든 産業分野에 널리 採用되고 있으며 制御技術도 오랜 歷史의 뒷받침으로 完



〈그림-2〉 電動機 制御技術의 技術動向

成段階에 이르고 있는데 시스템 全體의 綜合的인 經濟性 追求面에서 보다 高度의 機能의 現實을 11 的으로 하여 마이컴이 導入될 것으로 전망된다.

첫째로 制御性能의 向上改善의 點에서는 종래의 아날로그 制御系에서 곤란하게 생각되었던 檢出器의 高精度의 線形性 確保, 아날로그信號의 正確한 傳達, 外部變化(溫度, 外亂)에 의한 誤差補正 등을 制御部의 마이컴化에 의하여 디지털 制御系로 대체하여 改善할 수 있다.

둘째로 시스템의 操業效率 向上, 信賴性의 向上, 保守機能의 向上面에서는 시스템의 最下位 레벨의 손발로서의 電動機制御裝置와 上位의 프로세스 컴퓨터間을 多重데이터 傳送裝置로 直接 인터페이스 하기가 용이하고 外線케이블 削減에 의한 經濟性 效果를 얻을 수가 있는 동시에 制御시스템의 階層 構造가 完成된다. 또한 遠力에서의 特性診斷이나 故障診斷에 의한 豫防保守이 크게 촉진될 것으로 期待된다.

이와 같이 直流電動機의 制御技術은 그 特徵을 충분히 살려 앞으로 보다 高度의 完成은 追求할 것으로 생각되는데 直流電動機가 整流子和 브러시 라는 機械的 接觸機構를 가지고 있기 때문에 整流 限界에서 오는 容量限界가 있으며 또한 整流子和

브러시의 定期保守가 必要하다는 것이 難點이다.

(2) 籠形誘導電動機의 制御技術

籠形誘導電動機는 브러시나 슬립핑이 없는 가장 견고하고 耐環境性이 우수한 電動機이다. 籠形誘導 電動機를 任意로 可變速制御하는 것은 電動力應用 技術者의 꿈이었는데 電力用 半導體와 마이컴을 應用함으로써 實用化가 急速히 促進되었다. 籠形誘導 電動機의 回轉數 N은 일반적으로 다음 式으로 表示된다.

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

f : 電源周波數, P : 電動機極數, S : 슬립

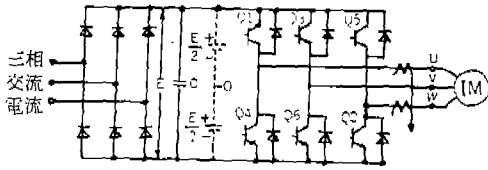
따라서 電源周波數를 變化시킴으로써 回轉數를 變化시킬 수가 있는데 실제로는 동시에 電壓을 變化 시켜야 한다. 이것은 모우터에 印加되는 電壓을 E 라 했을 때 모우터 내의 磁束 ϕ_m 은 $\phi_m = K_f \frac{E}{f}$ 로 表示된다.

따라서 周波數만으로 回轉數를 내리려고 하면 磁束이 더욱 強化되어 強化되어 飽和되어버리므로 周波數와 電壓을 동시에 制御하여 磁束은 일정하게 해야 된다.

이 制御는 V/F 制御라고 한다. 그러나 V/F 制御 만으로는 制御系가 閉루우프이고 定常狀態의 制御 特性은 安定되어 있는데 負荷나 指令值가 急變한 순간의 過渡狀態에서는 安定된 應答은 얻기가 어렵다. 거기서 高速應答, 精密制御의 可能性을 개척하는 것으로 벡터制御가 開發되었다. 이것은 基本的으로 直流電動機의 토크發(메카니즘은 그대로 籠形誘導電動機에 適用한 것으로 1次電流 I₁이 1次捲線에 回轉磁界를 만드는 勵磁電流 I₀와 2次導體에 發生하는 토크에 比例하는 2次電流 I₂의 벡터合成이라는 사실에 着眼한 것이다. I₂은 다음 式과 같다.

$$I_2 = I_0 + I_1$$

이에 의거하여 I₂의 時時刻刻의 瞬時值를 마이컴으로 演算制御하고 I₁의 瞬時值制御를 실시하는 閉루우프 制御系를 構成함으로써 精密하고도 스무우드한 制御를 할 수가 있다. 이 벡터演算制御는 電動機나 變換器의 動作狀態에 맞는 時時刻刻의 복잡 한 演算制御機能을 마이컴에 부여함으로써 마이컴의 메리트를 충분히 살린 制御方式이라고 할 수가 있다. 벡터制御方式의 實用化에 의하여 종래 直流



〈그림- 트랜지스터 인버터의 주회로構成

電動機의 獨舞台였던 精密速度制御나 定出力制御 등의 高度의 制御도 籠形誘導電動機로 代置하는 것이 可能해졌다.

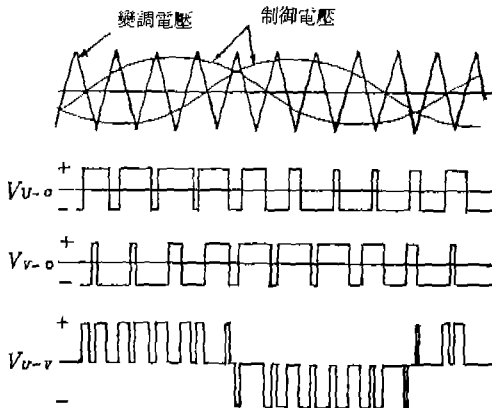
3. 트랜지스터 인버터의 마이컴應用

籠形誘導電動機의 可變速制御의 實用化는 에너지節約, 節電, 資源節約을 追求하는 社會的 要求에 부응하는 것이기도 하고 小容量에서 廣範圍하게 採用되는 추세에 있다.

小容量의 可變速制御의 分野에서는 마이컴과 과우어 트랜지스터를 應用한 制御裝置의 實用化에 의하여 經濟的이고 보다 콤팩트한 制御裝置가 實現되었다.

3-1 電壓形 트랜지스터 인버터

誘導電動機를 V/F制御에 의하여 可變速하고 裝置가 電壓源과 같이 作用하는 인버터를 電壓形인버터라고 한다. 直交變換回路를 자이안트 트랜지스터(GTR)로 구성한 것은 電壓形트랜지스터 인버터라고 한다. 인버터에 의하여 周波數와 電壓을 可變制御하는 方法의 하나로서 PWM (Pulse Width Modulation) 방식이 있으며 그림 3에 主회로構成을 들었다



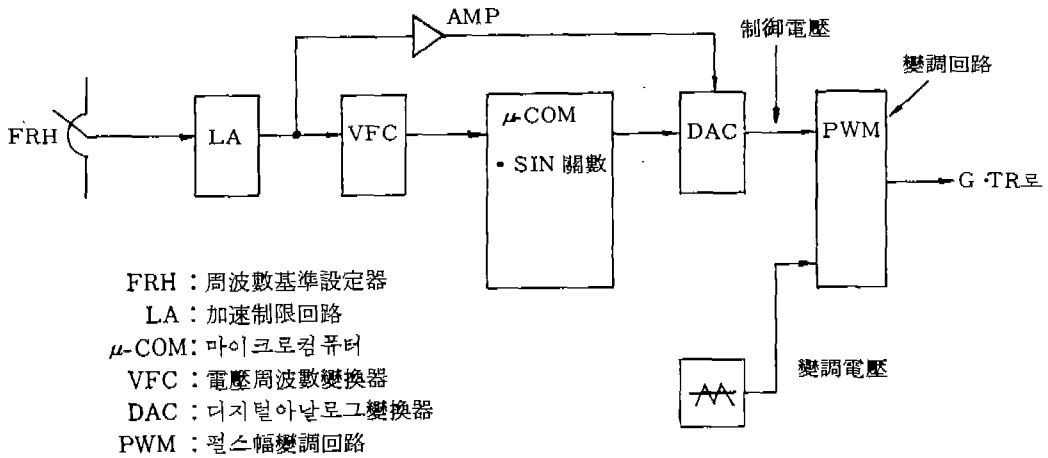
〈그림- 4〉 PWM 制御波形

다. 그림 3에서 3相交流電源을 整流, 平滑한 直流電源 E를 主트랜지스터 ($Q_1 \sim Q_6$)로 구성한 인버터部分에서 直流에서 交流로 變換하는 동시에 電壓制御를 한다. 이 때 出力의 電壓 V와 周波數 F의 制御를 $Q_1 \sim Q_6$ 의 트랜지스터의 펄스幅을 變換하여 실시한다. 이와 같이 周波數는 인버터의 초핑에 의하여 可變되는데 이대로는 出力電壓波形은 方形波이며 出力電流에 高調波가 많이 포함되므로 電動機의 토오크리플이나 効率的 低下가 문제가 된다. 여기서 出力電壓波形을 正弦波에 접근시키는 方式으로 正弦波 PWM 制御가 있다. 그림 4에 正弦波 PWM 制御의 波形變調方法에 대하여 2相分을 例로 하여 들었다. PWM 制御는 周波數 設定에서 부여된 入力의 크기에 比例하는 振幅을 가진 正弦波의 交流制御電壓을 만들어내며 이 制御電壓을 變調回路에서 3角波의 變調電壓에 의하여 變調하고 그 信號에 의하여 主트랜지스터 ($Q_1 \sim Q_6$)의 온, 오프를 하여 원하는 出力周波數와 電壓을 얻는다. 中性點에 대한 電壓은 V_{u-o}, V_{v-o} 가 되며 U-V間 線間電壓은 V_{u-v} 가 된다. 따라서 出力電壓은 1 사이클 속에서 펄스幅이 變化하며 그 交流電壓은 擬似正弦波가 되며 電動機電流는 거의 正弦波가 된다. 그림 5에 制御回路 構成을 들었다.

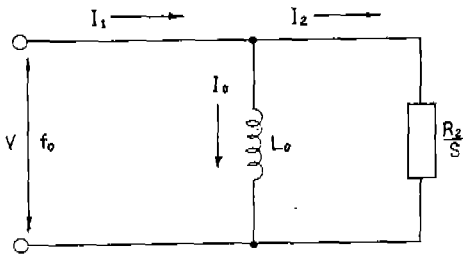
마이컴 μ -COM은 周波數 基準에 比例하는 周波數의 펄스 을 받아 入力周波數에 比例하는 周波數의 正弦波 함수의 3相의 데이터를 出力한다. 이와 같이 電壓形 트랜지스터 인버터에 있어서는 마이컴의 사용에 의하여 任意的 周波數의 正弦波, 또한 서로 120도의 位相差를 가진 3相의 正弦波 出力電壓을 용이하게 얻을 수가 있다.

3-2 電流形 트랜지스터 인버터

誘導電動機를 벡터制御에 의하여 制御하고 裝置가 電流源과 같이 作用하는 트랜지스터 인버터를 벡터制御付 電流形트랜지스터 인버터라고 한다. 벡터制御의 原理를 具體的으로 이해하기 위해 그림 6에 誘導電動機의 簡易等價回路를 들었다고 그림 7에 벡터圖를 들었다. 그림 6의 等價回路에서 電動機의 2次導체에 鎖交하는 磁束 ϕ 는 勵磁電流 I_0 에 비례하며 2次導체에 發生하는 토오크 TM은 2次電流 I_2 에 比例한다. 이것을 式으로 表示하면 다음과 같다.

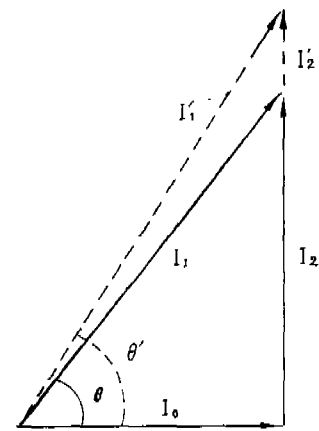


〈그림-5〉 電壓形 트랜지스터 인버터의 制御回路 構成



- V : 端子電壓 I₀ : 勵磁電流
 f₀ : 電源周波數 L₀ : 인덕턴스
 I₁ : 1次電流 R₂ : 2次抵抗
 I₂ : 2次電流 S : 슬립

〈그림-6〉 誘導電動機의 簡易等價回路



〈그림-7〉 電流 벡터圖

$$\Phi = K_1 I_0 = K_1 \frac{E_0}{2\pi f L_0} = K_1' \frac{E_0}{f} \dots\dots\dots (1)$$

$$T_M = K_2 \Phi I_2 = K_2' K_2 \frac{E_0}{f} I_2 \dots\dots\dots (2)$$

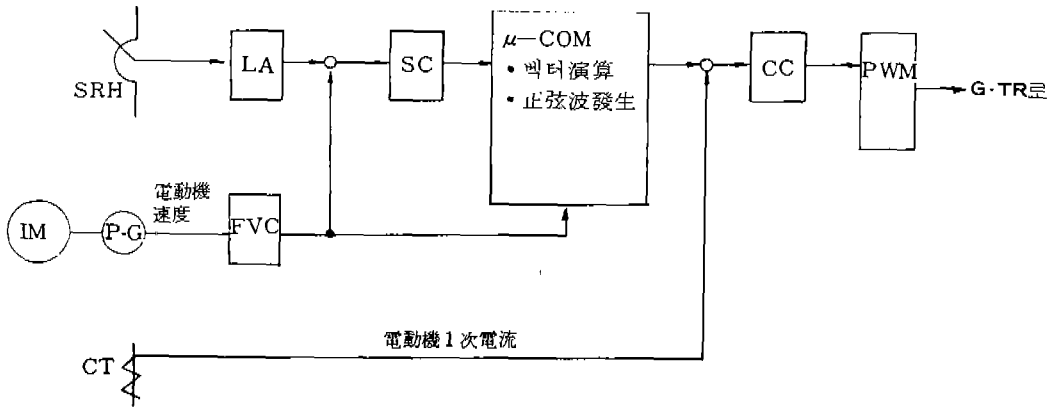
또한 그림 7의 벡터圖에서 1次電流 I₁ 은
 $I_1 = I_0 + jI_2 = I_1 \angle \theta \dots\dots\dots (3)$

여기서 $I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2^2}$, $\theta = \tan^{-1} \frac{I_2}{I_0}$

로 表示된다. 따라서 負荷에 관계 없이 磁束一定 制御를 하려면 2次電流 I₂에 관계 없이 勵磁電流 I₀가 일정해지도록 1次電流 I₁의 크기와 位相角 θ를 制御하면 된다. 이와 같이 制御하면 過度的인 負荷變動에 대해서도 電動機의 磁束을 過渡的으로 變化시키지 않고 토오크를 발생시킬 수가 있으며 應答性이 좋은 制御를 할 수가 있다.

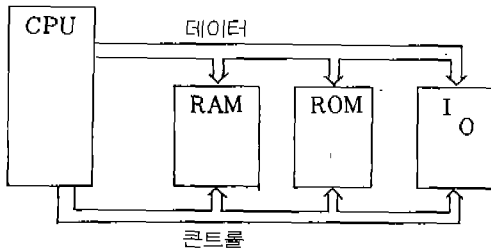
벡터制御付 電流形 인버터의 主回路構成은 基本的으로 그림 3의 電壓形 인버터의 主回路構成과 마찬가지로 이다. 그림 8에 電流形 트랜지스터 인버터의 制御回路 構成을 들었다. 마이컴 μ-COM은 速度 制御回路 SC의 出力 즉 必要한 토오크의 크기로서 의 信號에서 必要한 2次電流 I₂의 크기를 判別하고 速度檢出器 FVC의 出力 즉 電動機 速度信號에서 그 速度에서의 必要磁束 φ(勵磁電流 I₀)를 判別하여 벡터演算을 하고 電動機 1次捲線의 3相 各相의 正弦波電流 基準值를 出力하고 있다.

그림 9에 벡터制御에 사용되는 마이컴의 구성을 들었다. 마이컴에서 函數를 求할 경우에는 展開式을 사용하여 計算하면 計算時間이 너무 많이 所要되므로 여러가지 값에 대한 函數值를 미리 計算한



SRH : 속도設定器 CC : 電流制御回路
 LA : 加速制限回路 PWM : 펄스幅變調回路
 SC : 속도制御回路 IM : 誘導電動機
 FVC : 周波數電壓變換器 PG : 펄스發信器

〈그림-8〉電流形 트랜지스터 인버터의 制御回路構成



〈그림-9〉마이컴의 構成

結果를 메모리에 記憶시켜두는 方法을 택한다. ROM은 演算프로그램, 函數值, 定數 등을 記憶하고 있는 判讀專用的 메모리이며 電源을 끊어도 記憶은 상실되지 않는다. RAM은 演算途中 結果나 變數를 일시적으로 記憶하여 記入, 判讀을 자유롭게 할 수 있는 메모리이다.

벡터制御는 시시각각의 函數計算, 2 乗승의 平方根, \tan^{-1} , SIN 등의 計算이 複雑한데 마이컴에 이 같은 機能을 부여하여 制御를 용이하게 하는 동시에 良好한 精密制御를 可能하게 하고 있다.

3-3 트랜지스터 인버터의 適用

保守性和 經濟性에 우수한 誘導電動機는 대부분이 定速度로 運轉되어 왔는데 인버터制御裝置에 의하여 용이하게 可變速이 可能해졌다. 表1에 電壓形 트랜지스터 인버터와 벡터制御付 電流形 트랜지스터 인버터의 負荷에의 適用에서 본 比較表를 들었다.

여기서 電動機의 負荷特性은 基本的으로 다음과 같은 것이 있다.

(a) 定토크形 : 速度를 變化시켜도 토크는 일정하다.

(b) 定出力形 : 速度에 反比例하여 토크가 變化한다.

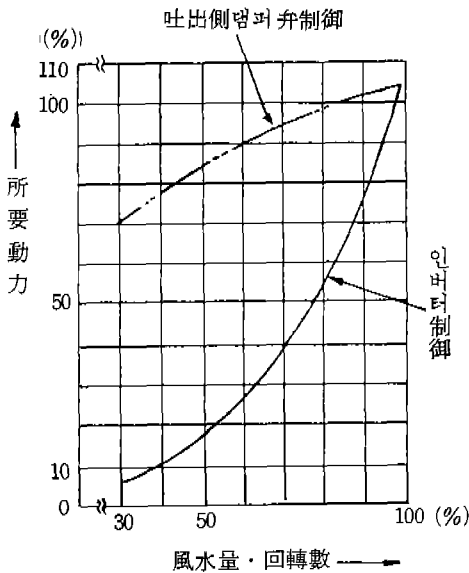
(c) 2 乘토크形 : 速度의 2 乘에 比例하여 토크가 變化한다.

(1) 電壓形 트랜지스터 인버터의 適用

電壓形 인버터는 基本的으로 開루우프의 V/F 制御이기 때문에 1 臺의 制御裝置로 複數臺의 電動機를 並列運轉할 수 있다는 것, 既設의 모우터도 하등의 改造를 加하지 않고 運轉할 수 있다는 등의

〈表-1〉電壓形인버터와 電流形인버터의 比較

項 目	電壓形 트랜지스터 인버터	벡터制御付電流形 트랜지스터 인버터
負荷特性	速度 2 乘토크에適合	速度 2 乘토크 定토크 定出力特性에 適合
制御應答	늦다	빠르다
制御裝置와 모우터臺數의 關係	複數臺모우터의 均等 速度運轉도 可能	基本的으로는 單機모우터
모우터의 新·既의 適用	既設, 新設 모두 可能	新設모우터



〈그림-10〉 블로우어펌프의 所要電力特性例

利點이 있다. 한편 벡터制御는 하고 있지 않으므로 高度의 應答性은 期待할 수 없으며 精密한 토크制御에는 적합하지 않다. 또한 低周波制御 時에는 電動機 1次임피던스에 의한 電壓降下를 無視할 수 없으므로 토크가 低減되고 起動時 높은 토크를 必要로 하는 負荷에는 適用에 注意가 必要하다. 따라서 電壓形 인버터는 起動時 높은 토크를 必要로 하지 않는 2乘 토크負荷에 가장 적합하다. 2乘 速度 토크負荷로서 代表的인 것은 블로우어나 펌프 등의 風水力機器인데 그 所要動力이 速度의 3乘으로 變化하므로 速度制御에 의한 電力節約效果가 매우 크다. 그림10에 블로우어, 펌프의 所要動力 變化를 종래의 定速電動機를 사용한 펄퍼制御의 경우와 인버터에 의한 可變速制御의 경우의 각각에 대하여 表示했다. 이 그림에서 인버터에 의하여 可變速制御를 한 경우의 節電效果는 명백하다. 에너지資源의 節約이라는 社會的 要求에서 工場消費電力의 대부분을 占하는 定速電動機의 運轉電力의 節減이 進지하게 檢討되고 있다. 電壓形 인버터에 의한 可變速制御는 그 節電效果와 동시에 시스템화가 용이하다는 것, 既設設備에 設備의 變更 없이 適用할 수 있다는 점 등에서 急速히 적용이 증가되고 있다.

(2) 電流形 트랜지스터 인버터의 適用

벡터制御付 電流形 인버터는 基本的으로 閉루우프의 벡터制御이기 때문에 負荷의 過渡變動이나 4

象限의 급격한 加變速에도 높은 應答性을 얻을 수가 있고 直流電動機의 適用分野에도 直流電動機의 代替制御로서 충분히 適用할 수 있다. 벡터制御는 低速에서 高速까지 必要한 토크를 확실히 얻을 수 있으므로 2乘토크 負荷뿐만 아니라 定토크負荷에도 적합하며 모든 分野에 適用할 수 있다고 하겠다. 또한 制御原理는 基本的으로 直流 電動機의 制御에 카니즘과 같은 사고방식에 입각한 것이므로 自動界磁弱화制御(定出力制御)도 直流機와 마찬가지로 可能하다. 한편 制御系가 閉루우프를 구성하여 電動機 速度의 피드백이 必要하며 電動機의 速度檢出센서를 必要로 한다는 것, 벡터演算은 制御裝置 1대에 대하여 1台的 電動機를 制御하도록 되어 있으므로 既設의 定速電動機나 複數台 電動機의 並列運轉에는 적합하지 않다. 따라서 벡터制御에는 直流電動機의 代替制御方式으로서 誘導電動機 본래의 小形이고 견고하며 耐環境性을 살릴 수 있는 용도에 가장 적합하다. 종래에 直流電動機의 獨舞台였던 抄紙機의 리일驅動, 連續鑄造設備의 可變速驅動, 工作機의 主軸驅動 등에 適用이 擴大되어 가고 있다. 工作機의 主軸驅動에 대해서는 誘導電動機의 견고성을 살려 直流電動機에서는 不可能한 4,500~6,000rpm의 高速制御도 可能하게 되었다.

4. 맺는 말

電動機 制御裝置에의 마이컴應用은 制御시스템의 高性能, 高信賴性의 追求에 의하여 더욱 發展될 것이 期待된다. 특히 誘導電動機의 可變速制御에의 應用은 마이컴의 特徵을 충분히 살린 좋은 예이며 電力用 半導體의 應用과 함께 파워 엘렉트로닉스 技術의 結集된 것의 하나라고 하겠다.

