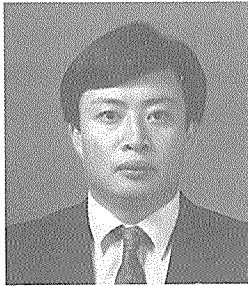


# 誘導電動機 可變速 드라이브의 技術開發 動向



三星航空産業(株)  
産機事業本部  
崔賢鍾 課長

## 1. 序 論

誘導電動機는 약 100년전 發明되어, 제임스 와트의 증기기관을 대체하며 산업기계의 動力源으로서 제2의 産業革命을 이룩하여 왔다. 이러한 誘導電動機의 最適運轉 및 高効率運轉을 目的으로 誘導電動機와 인버터(V.V.V.F)를 조합한 인버터 드라이브 技術은 제3의 産業革命으로 평가할 수 있으며, 향후 비약적인 발전이 기대된다.

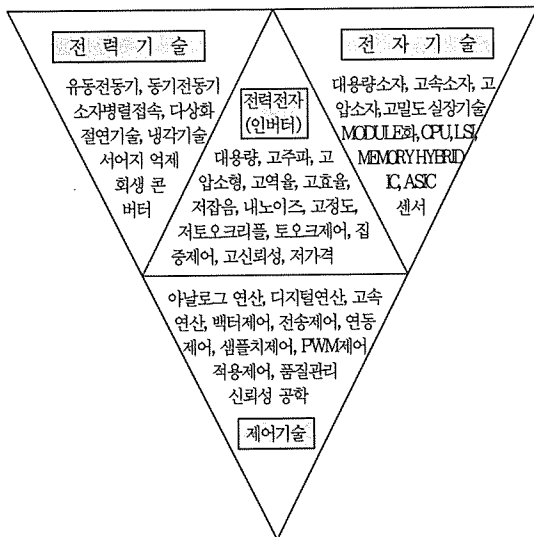
誘導電動機 加變速 制御技術의 중심이 되는 인버터가 제품화 된 것은 1960년 이후, 電力電子(POWER ELECTRONICS) 技術의 발전에 따라 電力用 半導體素子の 開發 및 마이크로 프로세서를 應用한 디지털 制御技術의 進歩로 급속히 발달하여 生産 LINE의 自動化를 시초로 空調設備, 엘리베이터 및 에어컨, 照明制御 등 民生用 機器에 이르기까지 광범위하게 적용이 확대되고 있으며, 특히 直流電動機의 대체라는 새로운 분야의 可變速化를 촉진하여 다양화 하고 있다.

이에 따라, 本稿에서는 汎用인버터를 중심으로 可變速 드라이브의 必要性 및 技術動向에 대하여 記述하고자 한다.

## 2. 可變速 드라이브의 概要

### 2-1. 電力電子 技術

電力用 半導體 素子の 實用化는 실리콘 다이오드로부터 시작되었으나, 電力電子 技術의 발달은 1958년 미국의 GE社가 制御能力을 갖는 素子인 THYRIS-TOR를 개발한 것을 시초로, 다이리스터의 실용화에 따라 可變速 드라이브의 應用은 직류전동기의 다이리스터 레어나드, 유도전동기의 一次電壓制御, 捲線形 유도전동기의 靜止세르비우스 등 靜止形 可變速 制御裝置의 광범위한 분야에 이르고 있으며, 또한 고속다이리스터의 개발에 의해 인버터의 實用化가 시작되어, 유도전동기 可變速 드라이브의 새로운 章을 열었으며, 파워 트랜지스터도 高增幅率을 확보하기 위해 다링톤 접속제조, 高耐壓化, 大電流化 등을 추진하는 것과 함께 파워 MOS-FET 및 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 등의 고속 스위칭 素子の 개발로 50KW이하의 PWM 제어형 인버터가 파워트랜지스터에서 IGBT로 급속히 전환되고 있다. 한편 마이크로 프로세서를 응용한 制御演算技術의 발달에 의해 小型化, 低價格化, 高性能化, 多機能化를 실현하고 있다.



[그림2-1] 電力電子와 關聯技術

이러한 電力電子를 代表하는 인버터는 電動機 등의 電力技術, 半導體 素子등의 電子技術 및 電力, 電子技術을 活用한 制御技術이 融合되어 사용자들의 많은 NEEDS에 대응하여 발전을 계속하고 있다. 그림 2-1에 電力電子와 關聯技術을 나타내었다.

### 2-2. 인버터 드라이브의 現況

유도전동기에 의한 인버터 드라이브는 初期 單純 可變速 및 特殊用途에 적용을 주로 하였으나, 벡터制御의 개발로 高性能 드라이브가 실용화되어 엘리베이터 등의 高速應答制御 및 토크 制御가 가능하게 되었다. 특히 파워트랜지스터를 내장한 汎用 인버터 드라이브는 75KW이하의 용량에서 수요가 급속도로 증가하고 있으며, 數百KW 이상의 용량에는 從來, 鐵道車輛 드라이브에 주로 적용된 GTO(Gate Turn Off) 다이리스터 인버터가 高壓 및 大容量의 空調設備 등 一般産業用에 이르기까지 적용이 확대되고 있다.

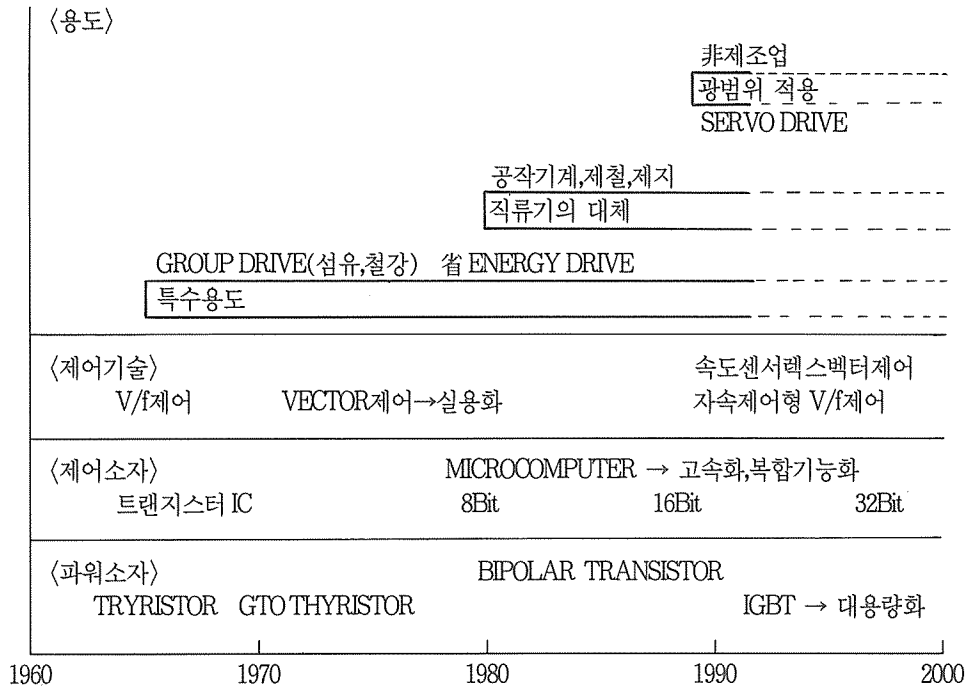
이러한 인버터 드라이브 技術의 發展推移를 그림 2-2에 나타내었다.

最近 인버터 드라이브의 現狀은 PWM 制御方式에 의한 트랜지스터(또는 IGBT) 인버터를 중심으로 발전하고 있어 V/f 一定制御 및 벡터制御方式에 있어서 각각 또는 공통의 技術課題를 갖고 있으나, 주요 問題点으로는

- 1) PWM 인버터 드라이브 특유의 電磁噪音 低減
- 2) V/f 制御方式의 低速領域에서 토크 不足 改善
- 3) 벡터制御方式의 2次 抵抗值 變化에 따른 토크 特性의 影響 低減
- 4) 高性能, 多機能化에 따른 操作의 簡便性

이와 같은 誘導電動機의 인버터 드라이브에 대한 많은 課題는 直流電動機 드라이브의 基本性能과 같이 간단한 運轉實現을 指向하는 것을 말한다. 즉 V/f 制御에서는 直流電動機의 電機子電壓制御에서 얻을 수 있는 回轉數에 關係없이 일정한 速度-토크 特性의 實現, 벡터制御에서는 電機子電流制御에서 얻어지는 電流와 토크의 比例特性의 實現이다.

또한 새로운 應用部門으로 從來 서보 드라이브로만 대응이 가능했던 簡易位置決定制御 分野에서부터, CIM(Computer Integrated Manufacture)化를 目標로 한 上位시스템과의 連係制御의 分野에 이르기까지 폭넓게 展開되고 있다.



[그림 2-2] 인버터 드라이브 技術의 發展推移

2-3. 機能·性能面에서의 要求品質

인버터 드라이브의 機能·性能面에서의 基本概念은 「産業機械(設備)로부터 個性과 能力을 最大限 끌어내어 生産性 向上 및 加工品質 向上을 이룩하는 最適의 모터 드라이브」를 실현하는 것이다.

바꾸어 말하면, 인버터를 적용함으로써 機械 또는 設備가

- 1) 각각의 個性을 대폭 向上 시키며,

2) 보다 多品種의 生産(處理)이 가능하며,

3) 보다 良質의 加工이 가능하며,

4) 보다 經濟的인 費用으로 運營이 가능할 것 등으로

高附加價値를 創出하는 것을 基本으로 한다.

표 2-1에 機能·性能面에서의 要求品質의 重要 포인트를 나타내었다.

(표 2-1) 사용자의 要求品質

設備의 要求事項	인버터에 요구되는 機能, 性能	技術上的 POINT
機械個性의 大幅 向上	低騒音化, TRIPLESS 運轉, 操作이 간편한 디지털設定/모니터링	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소프트웨어 라이브러리 강화 (기계의 적용 Point와 Link)</li> <li>• IGBT에 의한 高速 스위칭</li> </ul>
높은 生産效率	高頻度 START/STOP 高速運轉, 高起動 토오크	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 正弦波 電源回生 制御</li> <li>• 시퀀스 機能</li> <li>• 自動 토오크 부스트 機能</li> </ul>
정밀한 加工, 運轉	低 토오크 리플(매끄러운 運轉) 廣範圍速度制御, 토오크制御, 高速應答性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 벡터制御(電流·토오크制御)</li> <li>• 高速 演算 CPU 制御 (32Bit)</li> </ul>
信賴性 向上	部品点数 節減 部品 共通化	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 表面實裝技術(SMD)</li> <li>• 베이스드라이브 回路 除去 (IGBT 채용)</li> </ul>

표 2-2에 인버터에 대한 一般 USER의 기술적인 評價를 정리하여 나타내었다. USER의 不滿足 應答이 30%를 넘는 項目으로는 「低周波 運轉時 토오크」(59.7%), 「크기, 重量」(42.8%), 「高調波對策」(39.7%),

「起動 토오크」(37.9%), 「騒音」(33.4%) 등으로, 향후 INVERTER 製造業體들이 製品開發 또는 設計 變更時 重点 推進해야 할 事項이다.

〈표 2-2〉 INVERTER에 관한 USER 評價



日本電機工業會 「INVERTER에 관한 USER 調査」報告書 參考

### 3. 인버터의 種類 및 適用效果

인버터 드라이브는 1960년대말 實用化되어, 當初에는 高速, 省 MAINTENANCE가 强하게 要求되어 合成纖維機械驅動用 등을 中心으로 다이리스터 인버터가 適用되어 왔으나, 鐵鋼, 플라스틱 업계의 應用도 進보되어, 1980년대 에너지 파동(OIL SHOCK)의 影響으로 電力料금이 급등하여, 이것을 機會로 省 ENERGY용으로 ' 주목을 받았다. 우선 電力節約量이 큰 大型 FAN, PUMP, BLOWER 用途에 大容量 INVERTER의 適用이 擴大되는 동시에 파워 트랜지스터의 장점을 최대한 活用한 「汎用 電壓形 PWM 트

랜지스터 인버터」가 開發되어, 中小容量의 보급도 加速化되었다.

#### 3-1. 인버터의 機能別 種類

##### 3-1-1. 汎用 인버터

마이크로프로세서를 利用하여 高性能, 多機能, 小型化를 추구하며, OPTION 機能과의 組合에 의해 다양한 中·小시스템에 適用하고 있다. 특히 최근에는 低振動, 低騒音, 低라디오 障害가 要求되는 것과 함께 經濟性的의 추구도 强하게 要求되고 있다. 適用負荷 別로 보면 PUMP, FAN, BLOWER 등의 省 ENERGY 用途를 시작으로 컨베이어, 크레인, 호이스트, 搬送시

스텝 등의 自動化, 省力化, 品質向上 用途 또한 旋盤, 小型 CNC 등의 金屬工作機械 및 프레스 등의 金屬加工機械, 車輛, 엘리베이터, 醫療機器, 인텔리전트 빌딩 制御에 이르기까지 광범위하게 수요가 날로 증가하고 있다.

適用技術에 있어서는 16비트의 원칩 高性能 마이크로 프로세서와 ASIC를 탑재하여 최적의 正弦波 PWM 制御 및 高精度의 波形發生 處理를 하고 있고, 高性能 파워 素子の 채용으로 高速스위칭, 드라이브 電力의 低減, 高集積化, 大容量化등을 추진하고 있으며, 다양한 시퀀스 機能, 電子서멀 機能, 高始動 토크 制御 機能, 各種保護機能 및 運轉 모드 機能등을 보유하고 있다.

### 3-1-2. 시스템용 高性能 벡터 인버터

벡터制御方式의 급속한 발달로 誘導電動機의 電流 및 토크 制御가 실현되어 DC MOTOR 드라이브의 性能을 능가하는 高精度, 高速應答의 인버터가 제품화 되었다.

특히 최근에는 펄스 제네레이터 등의 電動機 速度 檢出器를 부착하지 않은 센서레스 벡터制御가 주목을 받고 있다.

또한 초기 開發製品의 難点인 調整上의 불편함이 AUTO CHECKING 등의 自動最適 調整機能에 의해 개선되어, 高速用 엘리베이터, 鐵鋼 PROCESS LINE, 製紙加工機械, 플라스틱·필름·電線 製造設備 등에 수요

가 확대되고 있다.

### 3-1-3. 專用 인버터

專用機로써 特殊 必要機能을 더욱 강화하여, 專用 用途로서의 코스트 퍼포먼스를 철저히 발휘하는 製品으로, 예를들면 纖維機械 드라이브 用途에는 大型 시스템의 보수·점검을 고려하여 着脫이 간편한 캐셋트 구조로 사용자의 이익을 추구하고 있으며, 工作機械主軸 드라이브에는 NC와의 인터페이스, 인버터 주회로와 電源回生 制御回路와의 一體化 등 機械設備 全體의 價格向上에 공헌하고 있다.

### 3-1-4. 高周波 인버터

超精密 加工 또는 화인 세라믹 分野에 適用되어 高速電動機 驅動專用 PWM方式의 인버터로 최대 3KHZ(2極 모터의 경우 최고 18万 RPM)정도의 運轉이 가능하며, RS-232 C에 의해 시리얼 傳送機能을 내장하여 컴퓨터 또는 프로그래머블 콘트롤러와 접속이 가능하므로 治具研磨盤, 電子部品 加工機, 프린트基板 加工機 등에 수요가 급증하고 있다.

## 3-2 인버터의 適用效果

誘導電動機의 인버터 드라이브 技術은 종래의 드라이브方式에 비교하여 많은 長점을 갖고 있어 큰 效果를 발휘하고 있다.

표 3-1에 一般 電動機 可變速 制御方式의 長短점을 비교하여 나타내었다.

(표 3-1) 一般 電動機 制御方式의 長短点 比較

項 目	VS MOTOR	DC MOTOR	INVERTER
制 御 方 式	EDDY COUPLING에 의해 勵磁電流를 制御함으로써 回轉速度制御	電機子 電壓制御 $N = \frac{E - I_a R_a}{K\phi}$	電動機의 1次 周波數 制御 $N = \frac{120f}{P}$
効 率	出力速度에 따라 40~75%	出力速度에 따라 70~85%	出力速度에 따라 70~90%
力 率	出力速度에 따라 65~85%	出力速度에 따라 30~75%	出力速度에 따라 95%
補 修 点 檢	비교적 용이함	브러시, 정류자의 정기적 点檢 필요	電動機 구조가 간단하여  가장 용이함
制 御 機 能	간 단	간 단	마이크로프로세서 이용으로  다양한 機能보유
價 格	엄가임	電動機가 高價이고 制御盤이 필요하며  가장 高價임	일반 誘導電動機가  엄가이나, 인버터가 약간 高價
動 向	엄가인 반면 効率が 나빠  점차사용이 감소하고 있음	効率は 양호하나 力率が 나빠고  보수점검이 불편하여  점차 인버터로 대체하고 있음	効率, 力率, 補修点檢면에서  유리하므로  급속히 보급되고 있음

다음에 각 適用效果 측면에서의 用途 및 核心技術 에 대하여 나타내었다.

(표 3-2) 인버터의 適用效果別 用途 및 核心技術

適用效果	用 途	適用 인버터	核 心 技 術	從 來 方 式
省 ENERGY	FAN, PUMP, BLOWER, MIXER, EXTRUDER	汎用 인버터	運轉信賴性 向上 瞬停時 運轉繼續 異常再試圖運轉 에너지節減運轉	1) 商用 電源에 의한 一定速 ON/OFF 運轉 2) 댐퍼·벨브制御 3) 機械式 變速機 4) 流體기어
省 MAIN-TENANCE	纖維機械	合纖專用 인버터	카셋트식 着脫構造傳送 시스템 構成	直流 電動機
	鐵鋼 프로세스라인 製紙·필름加工機	시스템용 벡터 인버터	高精度 토오크制御 上位 CPU와 傳送制御 連動 제어	
生産性向上 自動化 省力化 性能向上	搬送시스템 (컨베이어, 台車, 리프터)	汎用 인버터	全自動 토오크 부스터 크레인專用 소프트웨어 및 시퀀스	1) 1次 電壓制御 2) VS MOTOR制御 3) 機械式 變·減速機
	工作機 主軸	主軸 드라이브 專用 인버터	高加減速 토오크 高精度 오리엔테이션	
	엘리베이터	專用 벡터 인버터	• 低騒音 • 엘리베이터 컨트롤러와 협조	
品質向上	電子部品加工機 PCB 加工機	高周波 인버터	• 回轉數 安定化 • 모터와의 保護協助	M-G 장치
快適性向上	空調設備	汎用 인버터	• 센서 組合技術 (온도, 습도, 압력, 유량)	ON/OFF 制御

#### 4. 인버터의 要素技術

최근에 開發된 製品에는 스위칭 소자로 IGBT를 채용하여, CARRIER 周波數를 可聽 周波數 帶域 이상으로 스위칭 함으로써 低騒音化를 실현하였고, DSP (Digital Signal Processing)를 벡터인버터에 채용하여 高性能化 및 ALL DIGITAL化를 실현하고 있다.

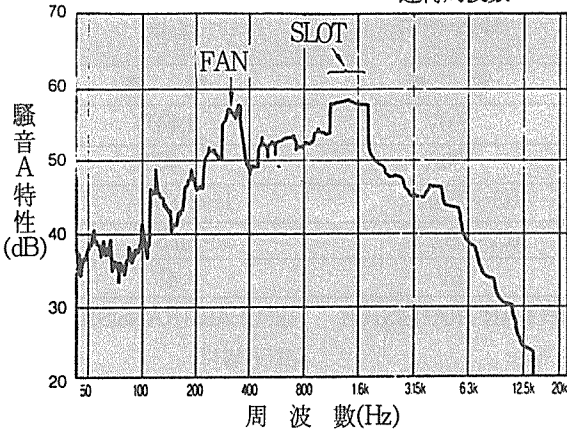
따라서 최근 인버터의 要素技術이라 할 수 있는 PWM 인버터의 低騒音化, V/f 制御의 改善, 디지털 電流制御등에 대해서 알아본다.

##### 4-1. 低騒音化

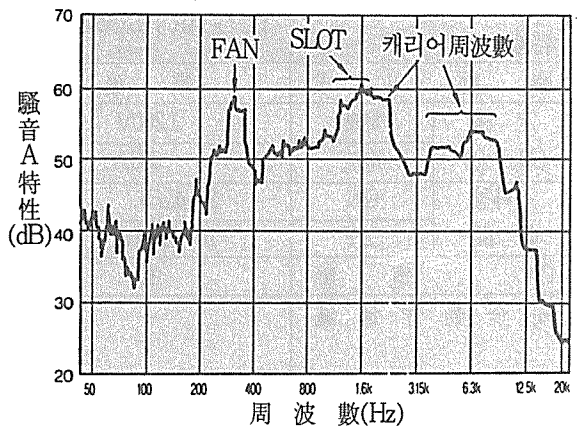
##### 4-1-1. PWM 인버터 驅動時의 騒音

誘導電動機에서 발생하는 騒音은 冷却 FAN, 通風 덕트에 의한 通風騒音, 베어링 또는 기계적인 불균형에 의한 機械騒音 및 電磁騒音으로 분류되며, 인버터로 운전하는 경우 인버터 出力電壓에 포함된 高調波成分의 영향으로 電磁騒音이 증가한다. 이것은 모터 내의 슬롯 空間 高調波에 인버터 出力電壓. 電流의 時間高調波가 중첩된 高調波 磁束에 의해 電磁力과 CARRIER 周波數 成分의 電磁力이 발생하여, 固定子와 回轉子의 鐵心을 진동시키며 프레임, 브라켓 등의 구조물에 전달되어 電磁騒音으로 된다.

條件) 電動機 2.2kW 200V 4極  
運轉周波數 60Hz



(a) 商用電源時



(b) 인버터 電源時

(캐리어주파수 : 2.5KHZ)

[그림 4-1] 電動機의 騒音分析

4-1-2. 低騒音化 對策-高 CARRIER 周波數化

PWM制御 인버터로 구동하는 電動機의 電磁音 周波數를  $fd$ 로 하면

$$fd = nfc \pm lfo \dots \text{식 4-1}$$

$fc$  : Carrier 周波數

$fo$  : 運轉 周波數

$n, l$  : 1, 2, 3...

캐리어 周波數  $fc$ 를 可聽帶域 이상의 높은 周波數에서 스위칭 할 경우 電磁音 周波數  $fd$ 도 可聽帶域 이상이 되어, 騒音が 대폭 감소하게 된다.

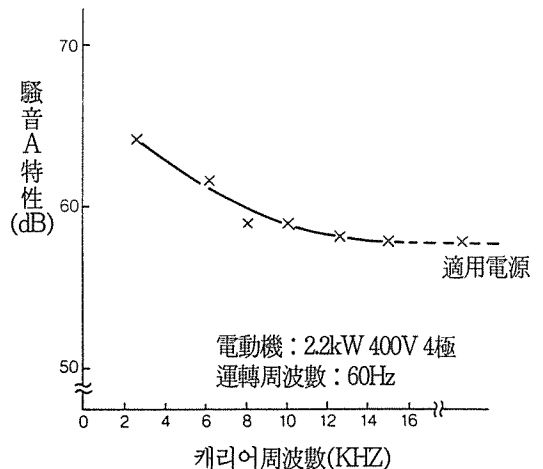
즉 캐리어 주파수가 15KHZ 이상이 되면 人間の 聽覺感도가 대폭 저하된다.

그림 4-2는 인버터로 모터를 구동한 경우의 캐리어 周波數와 騒音의 관계를 표시한 것으로 캐리어 주파수를 15KHZ 이상으로 하면 商用電源(正弦波)의 구동과 동일한 레벨까지 저감시킬 수 있는 것을 나타내고 있다.

그러나 바이폴라 트랜지스터에 의해 구동되는 인버터는 스위칭 속도의 한계로 캐리어 주파수를 2~3KHZ에서 선택하기 때문에 특유의 金屬音의 騒音が 발생하고 있다.

이 문제를 해결하기 위해 IGBT를 스위칭 소자로 채용하는데, IGBT는 바이폴라 트랜지스터에 비교하

여 턴온시간이 1/10정도로 되기 때문에, 스위칭 속도를 빠르게 할 수 있으므로 PWM制御 인버터에서 모터의 대폭적인 低騒音 效果를 얻을 수 있다.



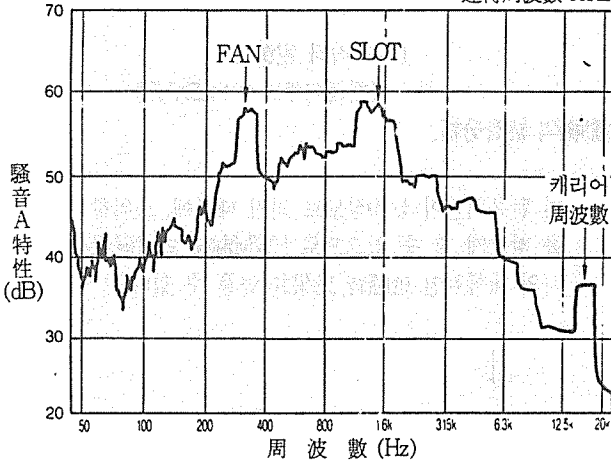
[그림 4-2] 캐리어 周波數와 騒音(實測 DATA)

低騒音化 對策의 또 한가지 방법은 PWM方式을 개선하는 것으로 變調信號에 基本波 이외의 第3調波를 중첩하는 방법이 있으나, 本文에서는 생략하기로 한다.

(표 4-1) POWER 素子の 特性 比較

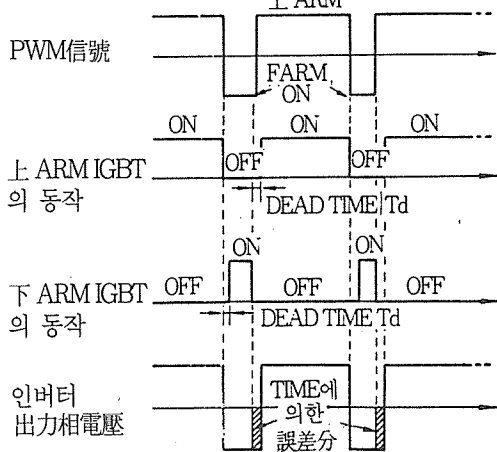
素子		BIPOLAR TRANSISTOR	MOS-FET	IGBT
特性				
驅 動 方 式		電 流	電 壓	電 壓
定 格 (最 大)	電 壓	1,200V	500V	1,400V
	電 流	600A	100A	400A
스위칭 時 間	ON	2~4 $\mu$ S	0.3~0.5 $\mu$ S	1~2 $\mu$ S
	OFF	10~20 $\mu$ S	0.3~0.5 $\mu$ S	1~2 $\mu$ S
ON 電 壓		2V	5V	4V
安 全 動 作 領 域		-	BIPOLAR TRANSISTOR 와 同-	BIPOLAR TRANSISTOR 보다 넓다.

條件) 電動機 2.2kW 4極  
運轉周波數 60Hz

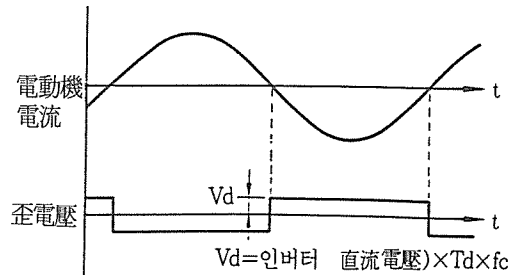


[그림 4-3] 低騒音 인버터 구동시의 騒音分析 例  
(CARRIER 周波數: 15KHz)

條件) 電動機電流가 正일때  
上 ARM



(a) PWM信號와 出力電壓의 關係



(b) 電動機電流와 歪電壓의 關係

[그림 4-4] DEAD TIME에 의한 歪電壓의 發生

4-2 V/f 制御의 改善

4-2-1. 低速運轉 特性의 改善

컨베이어 등의 반송시스템 또는 공업용 세탁기 등의 用途에서는 보다 매끄러운 加減速運轉 및 低速에서 安定된 運轉特性이 要求되고 있는데 速度리플의 原因이 되는 DEAD TIME의 보상과 모터速度의 安定化, 制御 및 토크 特性의 改善이 必要하다.

(1) DEAD TIME 補償

電壓形 PWM 인버터에서는 그림 4-4(a)에서와 같이 上 ARM과 下 ARM의 POWER 素子が 동시에 턴 온하여 短絡電流가 흐르지 않도록 DEAD TIME을 設計하여야 한다. 이 DEAD TIME을 등가적으로 표시하면 그림 4-4(b)와 같이 電動機 電流와 반대극성으로 矩形波가 歪電壓되어 토크 리플 및 速度리플의 原因이 된다.

이 歪電壓의 크기  $V_d$ 는 DEAD TIME  $T_d$ 와 캐리어



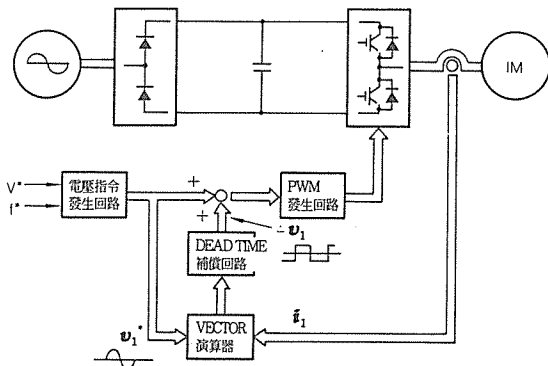
주파수  $f_c$ 의 크기에 比例하여 증폭되기 때문에, DEAD TIME을 짧게 설정 가능한 IGBT라도 캐리어 주파수를 15KHZ 이상으로 하면 歪電壓이 커지게 되

어 리플의 영향을 받게 되는데, 표 4-2와 같이 두가지의 補償方法이 있다.

〈표 4-2〉 DEAD TIME 補償方法

	電 流 法	電 壓 法
構 成		
補 償 動 作	電動機電流의 極性を 檢出하여, 電壓指令을 補償	檢出した 電動機電壓을 PWM電壓指令과 比較하여 電壓指令을 補償
特 徵	制御가 SOFTWARE로 구성가능하므로, HARDWARE가 간단	POWER 素子の 應答遲延을 포함한 補償이 가능
問 題 點	電流波形 또는 電流檢出器의 OFFSET에 따라 極性檢出部가 오동작하기 쉽다.	高速處理가 필요하기 때문에 HARDWARE로 구성할 필요가 있으며 복잡하다.

그림 4-5에서는 電流法을 나타낸 것으로 檢출한 電動機 電流  $i_1$ 과 電壓指令  $v_1^*$ 을 이용하여 電流位相을 演算하는 것으로 종래방법의 결점을 改善한 것이 다.



[그림 4-5] DEAD TIME 補償의 制御 BLOCK圖

(2) 電動機 速度의 安定化

誘導電動機의 인버터 드라이브에 있어서 다음과 같은 이유로 電動機 速度의 安全性이 低下되는 경우가 있다.

- 低速運轉時 電動機 자체의 電氣的 特性에 의해 速度安定性이 低下되기 쉽다.

- 인버터의 DEAD TIME 補償이 制御特性上 正歸還的으로 되므로 補償量의 誤差 또는 補償의 應答遲延으로 電動機 電流에 리플이 발생된다.

이런문제를 해결하기 위한 방법으로 다음과 같이 電動機 速度가 安定化되도록 制御를 구성한다.

- 인버터 出力電壓을 制御하여, 電動機 電流의 瞬時變動을 一定值 以下로 制限한다.

- DEAD TIME 補償의 應答特性이 制御上 不安定이 되지 않도록 補償應答을 調整한다.

(3) 토크 特性의 改善

誘導電動機의 토크는 電動機의 1차磁速  $\phi_1$ 과, 電流  $i_1$ 의 VECTOR積으로 되어, 이때문에 電動機 電流와 TORQUE의 관계를 일정하게 유지하기 위해서는 1차磁速  $\phi_1$ 을 일정하게 유지할 필요가 있다.

그러나 이 1차 磁速  $\phi_1$ 은 식 4-2와 같이 電壓  $v_1$ 이 일정하여도 電流  $i_1$ 에 따라 1차磁速  $\phi_1$ 이 변하게 된다. 특히 저속운전시  $R_1 i_1$  강하분을 補償하지 않으면 1차 磁速이 크게 저하하여 토크 부족의 문제가 발생된다.

$$\phi_1 = \int (v_1 - R_1 i_1) dt \dots \dots \text{식 4-2}$$

여기서  $v_1$ =電動機電壓 (VECTOR 量)

$i_t$  = 電動機電流 (VECTOR量)

반면에 電動機 電壓의 定常狀態에서의 크기  $E_t$ 은 식 4-3과 같이 近似하여 구할 수 있기 때문에, 토크電流  $I_t$ 를 高精度 演算을 하면, 저속 운전시에서도 定格 토크를 유지할 수 있다.

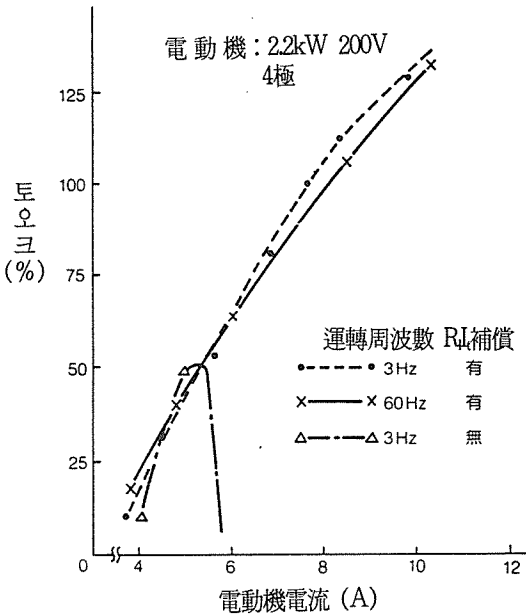
$$E_t = [R_t I_m^2 + (w_t \phi + R_t I_t)^2]^{1/2}$$

$$w_t \phi + R_t I_t \dots \dots \text{식 4-3}$$

여기서,  $I_m$  : 壓力磁電流 (無負荷電流)

$I_t$  : 토크 電流

$W_t$  : 運轉角 周波數



[그림 4-6] 電動機電流-토크特性

이 토크電流  $I_t$ 는 최근 開發된 速度센서레스 벡터 制御의 토크電流 演算方式을 應用한 것이다.

그림 4-6에 토크 特性例를 나타낸것으로  $R_t$  강하분을 補償한 경우 1/20 速度에 있어서도 電動機 電流-토크 特性이 變化하지 않게 되어  $R_t$  강하분이 補償된 것을 알 수 있다.

4-2-2. PWM Switching 損失의 低減

그림 4-7에 나타낸 것과 같이 바이폴라 트랜지스터에 비해 1回當 스위칭 損失이 적은 IGBT도 캐리어 周波數를 8KHZ 이상으로 하면 스위칭 損失이 問題가 된다. 이 때문에 스위칭 損失이 증가하지 않도록

高 캐리어 周波數 PWM 制御가 요구된다.

PWM 制御 인버터의 파워素子의 損失  $P_{loss}$ 은 식 4-4와 같다.

제1항은 定常損失이고, 제2항은 스위칭 損失이다.

$$P_{loss} = K_1 \cdot V_{CE} \cdot I_c \cdot a \cdot \cos \phi + (K_2 \cdot t_{on} + K_3 \cdot t_{off}) \cdot f_c \cdot E_{CC} \cdot I_c^2 \dots \dots \text{식 4-4}$$

여기서,  $V_{CE}$  : IGBT의 定常飽和電壓

$I_c$  : IGBT의 콜렉터 電流

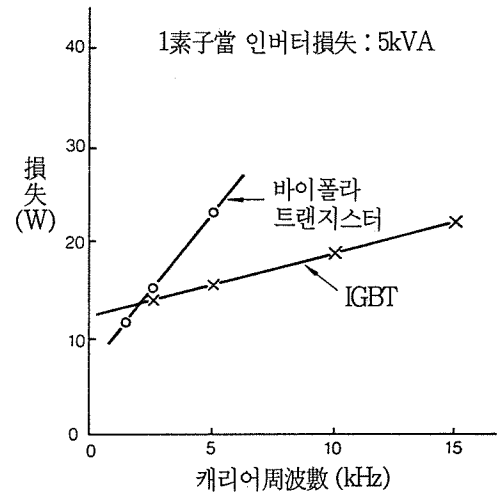
$a$  : 基本波의 變調率 ( $0 \leq a \leq 1$ )

$t_{on}, t_{off}$  : IGBT의 스위칭 ON, OFF時間

$f_c$  : 캐리어 周波數

$E_{CC}$  : 인버터 直流電壓

$K_1, K_2, K_3$  : 係數



[그림 4-7] POWER 素子의 損失比較

스위칭 損失은 캐리어 周波數에 비례하여, 콜렉터 電流의 2乘으로 비례하여 증가하기 때문에, 스위칭 損失의 低減方法으로 콜렉터 전류가 크게 될 때에는 스위칭을 休止하면, 損失 低減이 가능하다.

4-3. 電流制御의 DIGITAL化

高速應答이 필요한 電流制御部는 從來의 경우 CPU의 處理速度가 問題가 되기 때문에 디지털化가 어려웠다. 그러나 최근 高速演算이 가능한 DSP가 실용화되어, 벡터 인버터의 경우 DSP를 이용한 電流制御의 디지털化에 의해 1:1000의 廣範圍 速度制御 및 高速 應答化를 실현하여 高速用 엘리베이터 등에 적

용하고 있다.

## 5. 結 論

以上에서와 같이, 최근 誘導電動機 可變速 드라이브의 技術動向에 대해서 記述하였다.

인버터 드라이브 技術의 核心要素인 POWER 半導體素子 및 制御素子の 進歩는 低騒音化, 高性能·多機能化, 小型化 및 低價格化를 實現하였다.

그러나 國內 技術의 問題点으로는 S/W 設計 및 應用設計 技術이 先進技術에 의존해 있고, 部品素材 産業도 脆弱하여, 대부분을 輸入하는 등 많은 어려움을 갖고 있으나, 이러한 問題点を 改善하고 先進技術에 접근하기 위해서는 과감한 技術導入과 함께 輸入 原資材를 점차 國產化 해야겠으며, 輸出市場에 대비하여 製品의 信賴性 向上 및 海外規格을 獲得하여야겠다. 아울러 國內市場의 新規需要 擴大를 위해 製品의 應用技術 開發에 努力을 기울여야겠다.

### 中國古典의 名言

- ◎ 좁은 길을 갈 때는 한 걸음 양보하여 상대에게 길을 내주어라.
- ◎ 百里를 가는 자는 九十里를 절반으로 여긴다.

—菜根譚—

—戰國策—