



電氣技術者를 위한

産業用 로봇 技術

(7)

(2) 서보 技術

(가) 油壓 서보와 電氣 서보

서보 기구는 油壓式이거나 電氣式이거나 위치를 대상으로 한 自動制御인 것에는 차이가 없지만 그 구성요소의 본질적인 차이를 인식해 둘 필요가 있다. 油壓 서보는 油壓源으로부터의 高壓油를 서보 밸브에 의해 入力電流에 비례하도록 제어하고 油量 그 자체가 油壓 실린더나 油壓 모터의 移動量, 즉 負荷의 變位가 된다. 이에 대해 電氣 서보로 제어되는 것은 電流, 즉 모터의 회전 토크이다. 이 회전 토크가 부하를 포함한 모터의 관성을 加速하여 회전수가 오르고 회전수의 積分인 부하의 變位가 된다. 이것은 油壓의 경우보다 복잡하다. 그러나 一見 간단하게 생각되는 油壓 서보의 경우라도 급속한 加減速 時의 동작이나 고정밀도화를 검토하게 되면 기류의 압축성, 서보 밸브의 應答性까지 포함한 검토가 필요해져 간단하지가 않다.

그림 4·14의 그림 중 (a)는 油壓 서보의 기본형이고 (b)는 압축성과 서보 밸브의 특성까지

포함한 高次 2차 2차 2차 서보系로 본 경우이다. 이에 대해 電氣 서보의 경우는 그림 4·15에서 처럼 서보 모터 자체가 1차 2차 2차 2차 특성을 가지고 기어와 나사에 의한 積分이 들어가서 2차 2차 2차 2차 시스템이 된다. 그러나 다행히 增幅器 주변의 動特性은 유압 서보 밸브와 같은 메커니컬한 움직임이 없으므로 이 이상으로 복잡해지지 않고 動作의 해석은 오히려 용이하다.

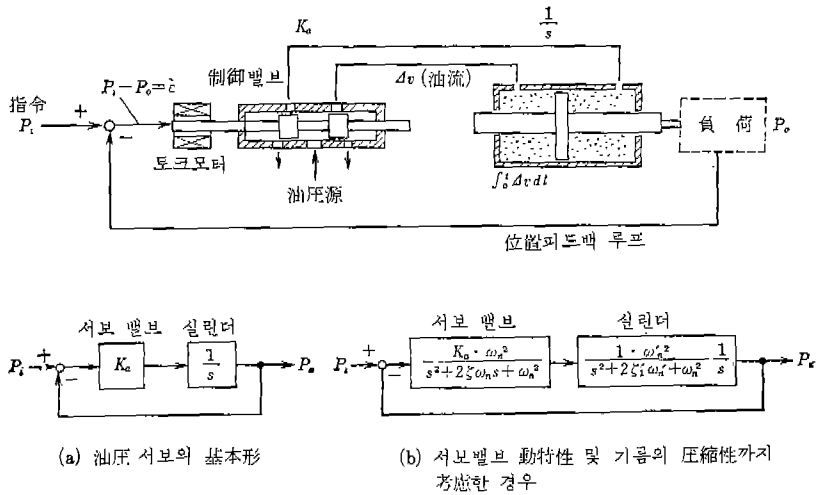
電氣 서보인 경우의 2차 2차 2차 2차 계통에서는 스텝狀의 지령을 주어서 급속한 加減速을 하는 경우, 오버 슈트가 있고 또 追從動作中에는 追從 속도 오차라는 문제가 일어난다. 추종 오차 ϵ [mm]의 크기는 시스템 루프 게인 Kv [1/s]와 추종속도 v [mm/s]로 정해지고

$$\text{追從誤差 } \epsilon = \frac{v}{Kv} \quad (4.1)$$

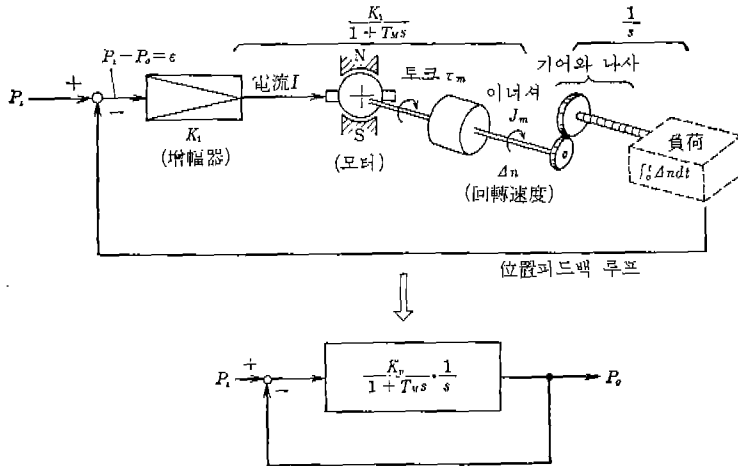
로 표시된다. 한편, 스텝狀 入力에 대한 오버 슈트의 크기는 근본적으로

$$\text{덤핑 係數 } \zeta = \frac{1}{2\sqrt{Kv T_M}} \quad (4.2)$$

로 구할 수 있다. 여기서 T_M 은 서보 모터의 應



〈그림 4·14〉 油壓 서보의 블록圖



〈그림 4·15〉 電氣 서보의 블록圖

答時定數이다.

그림 4·16은 ζ 의 값을 패러미터로서 스텝狀 지령에 어떻게 電氣 서보와 같은 2차 뒤진 계통이 응답하는가를 표시한 것이다. 통상, PTP 位置決定에서는 $\zeta = 0.5 \sim 0.7$, 원활한 追從이 요구되고 오버 슈트를 억제하고자 하는 CP의 경우에는 $\zeta = 0.7 \sim 1.0$ 또는 1.0 이상의 값이 취해진다.

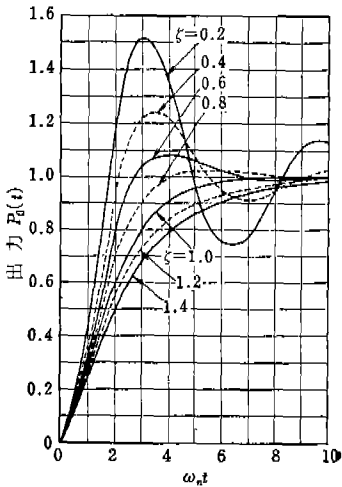
油壓 서보를 1차 뒤집으로 생각하면 위치 루

프 게인 K_v 를 아무리 크게 해도 오버 슈트를 일으키지 않고 추종 오차도 제로가 되지만 실제로는 위치 루프 게인에 上限이 있고 K_v 는 15~30s⁻¹을 초과할 수 없다.

前述한 그림 4·14(b)에서 실린더의 기름과 부하의 質量에 따른 스프링 共振는

$$\omega'_n = \sqrt{\frac{2A^2 B}{VM}} \gg K_v \quad (4.3)$$

A : 실린더의 단면적 (cm²)



(그림 4·16) 電氣 서보(二次 뒤진系)의 스텝 應答 $\omega_n = \sqrt{\frac{K_v}{T_M}}$

B : 기름의 體彈性 係數 $\approx 2.2 \times 10^4$ (기름의 종류, 온도, 압력에 따라 다르다)

V : 기름의 全 容量 $[cm^3]$

M : 부하의 질량 $[kg \cdot cm^{-2} \cdot s^2]$

인 固有 振動數를 가진다. 서보 밸브도 또 동일한 고유 진동수(4장 다의(4) 참조)를 가지기 때문에 이것을 초과한 높은 시스템 계인으로 하면 共振 亂調를 일으키게 된다.

(나) 檢出器와 서보 制御方式

검출기에 무엇을 사용하는가에 따라서 서보 제어방식도 정해진다. 검출기가 가지는 機能에 알맞는 서보 機構가 구성되고 産業用 로봇의 能力도 결정된다. 檢出器에는 어떠한 것이 있는가, 또 그 檢出原理는 어떻게 되어 있는가 하는 것은 4의 나에서 언급했으므로 서보 驅動이라는 입장에서 검출기를 선정할 때의 事項을 든다.

가) 정밀도... 絶對 치수로서 어느 정도 정확히 검출할 수 있는가를 표시

나) 반복 정밀도... 産業用 로봇의 動作 亂調가 되는 重要 요소

다) 분해능... 産業用 로봇의 동작을 어디까지 세밀하게 검출할 수 있는가를 나타낸다. 細細한

위 탈을 自動修正할 수 있는가의 指標이기도 하고 서보 性能과의 관계도 깊다.

라) 耐久性... 장기간 높은 頻度에서의 사용을 전제로 해서 産業용 로봇의 누적 동작회수에 적합한 性能을 갖추고 있는가.

마) 耐 노이즈性... 檢出信號에 電氣의 外亂이 섞이기 쉬우면 誤動作의 원인이 된다.

바) 耐環境性... 물·기름·먼지가 많은 환경에서의 사용을 전제로 선정해야 한다.

사) 耐振性... 운동체 위에 검출기를 붙이는 경우가 많고 진동을 받기 쉽다. 장착의 자세도 수직에서 수평으로 동작중에 변화하는 것도 고려해야 한다.

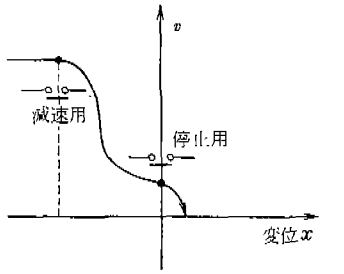
(a) 리밋 스위치에 의한 서보

PTP 위치결정방식에 사용되는 서보로서 부하의 이동으로 미리 設定한 리밋 스위치의 接觸을 ON-OFF해서 서보 모터의 구동 속도를 바꾸어 정지시키는 方式으로, 온 오프 서보라고도 한다. 정밀도와 高頻度の 動作은 기대할 수 없지만 가장 값이 싸고 오토 로더와 같은 동작이 고정되어 있는 경우에 많이 사용된다. 통상, 高速에서 低速에의 減速을 하여 정지 직전의 속도를 충분히 내려서 위치결정을 시키므로 비교적 높은 정밀도가 얻어진다(그림 4·17).

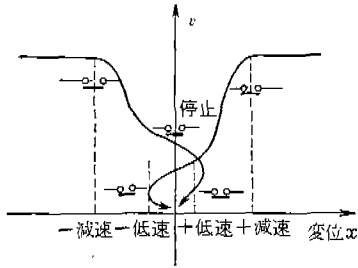
(b) 포텐서 미터에 의한 서보

負荷의 이동으로 포텐서미터(捲線形 精密抵抗器)의 저항값을 변화시켜서 검출하는 서보 방식이다(그림 4·18). 位置指令을 직류의 전압으로 부여하는 방식과 저항값으로 부여하는 방식이 있다. 前者는 위치제어의 거리에 따라서 높은 전압이 필요해지므로 後者의 방식처럼 저항값을 비교하는 방식쪽이 유리하다. 이 경우, 지령에 사용하는 電壓이 다소 변화해도, 또 回路에 노이즈가 들어와도 상쇄되어 誤差가 생기지 않는다는 특징이 있다. 指令抵抗은 摺動抵抗을 여러 개 나열해서 전환하는 방식, 고정저항을 반도체 스위치로 조합해서 임의의 저항값을 만드는 방식 등이 있다.

(c) 레졸버에 의한 서보



(a) 一方向接近



(b) 兩方向接近

〈그림 4·17〉 리미트 스위치 서보의動作

레졸버의 固定捲線에 가하는 勵磁電流과 回轉子에서 引出되는 信號 위상이 회전자의 角位置 θ_0 만큼 벗어나는 것을 이용하여 따로 설치한 디지털 移相回路에서 위치지령에 따라서 위치를

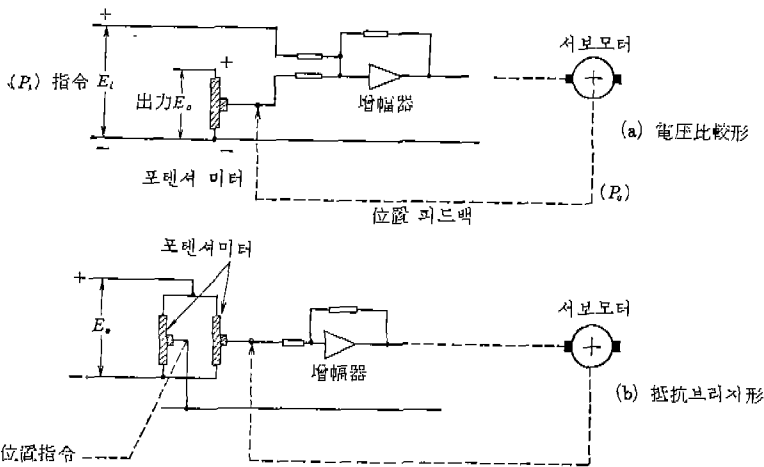
벗어나게 한 신호와 위상 비교를 시켜 위치 편차를 인출하는 서보 방식이다(그림 4·19).

디지털 移相回路에의 위치지령은 시리얼한 펄스列로 부여할 수도, 팔러럴한 디지털 신호로 부여할 수도 있다. 이러한 디지털 지령으로는 지령과 지령 중간에서 서보 제어를 할 수 없다는 문제가 있지만 레졸버 서보로는 檢出原理가 애널로그인 연속 검출이기 때문에 위상 비교의 정밀도를 충분히 높게 함으로써 指令과 指令의 간격과는 무관하게 偏差信號를 연속적으로 꺼낼 수 있다. 따라서 지령값의 중간에서도 연속한 서보 制御를 할 수 있으므로 부하가 振動이나 負荷 反力으로 미소한 變位를 하여도 이것을 캐치하여 변위를 밀어 되보내는 作用을 가진다(서보 록이라 한다).

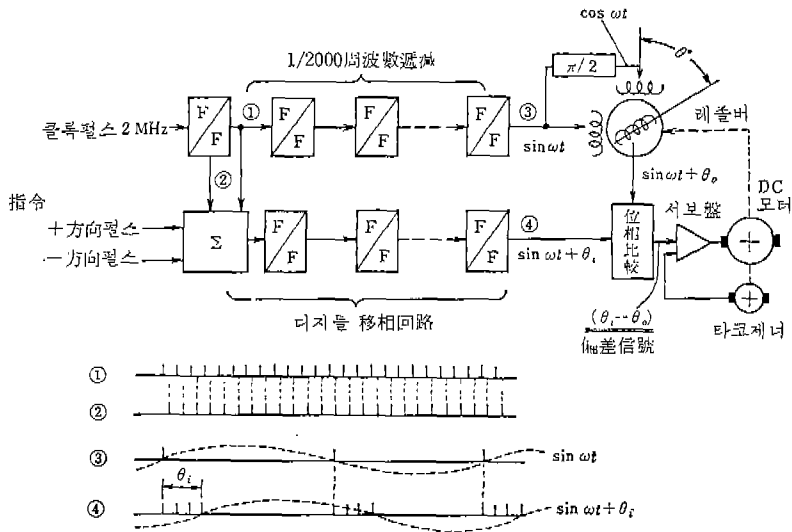
(d) 펄스 인코더 서보

펄스 인코더(펄스 발생기라고도 한다)의 出力 펄스를 計數해서 이동량을 검출하고 위치 지령 펄스와 비교 감산해서 서보 制御를 하는 방식이다(그림 4·20).

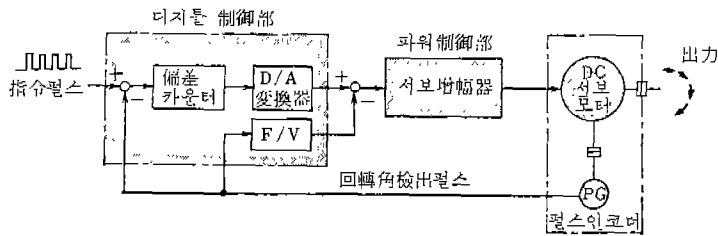
이 방식은 일반적으로는 디지털 DC 서보라고도 하며 指令에서 檢出에 이르기까지 디지털 회로에서 처리할 수 있으므로 構成이 單純하다는 장점이 있다. 펄스 인코더의 出力 펄스를 주



〈그림 4·18〉 포텐셔 미터 서보



〈그림 4·19〉 레졸버에 의한 서보



〈그림 4·20〉 펄스 인코더 서보 (디지털 DC 서보)

파수-전압변환기(F·V회로)로 펄스의 주파수에 비례한 전압으로 바꾸어 속도 검출을 할 수 있고 타코제너를 생략할 수도 있다.

(e) 펄스 모터에 의한 오픈 루프 서보

驅動 모터로서 펄스 모터를 사용한 檢出器가 없는 서보라고 할 수 있다. 검출기가 소용없고 産業用 로봇의 구동계는 簡素化되며 위치 루프 계인의 調整이라는 번잡한 조정도 필요없게 된다. 그런 반면, 펄스 모터 특유의 脈動回轉 때문에 産業用 로봇 본체가 共振를 일으키는 등의 다른 귀찮은 문제가 생기는 일도 있다. 또 구동 파워나 부하 관성 등의 限界도 있으므로

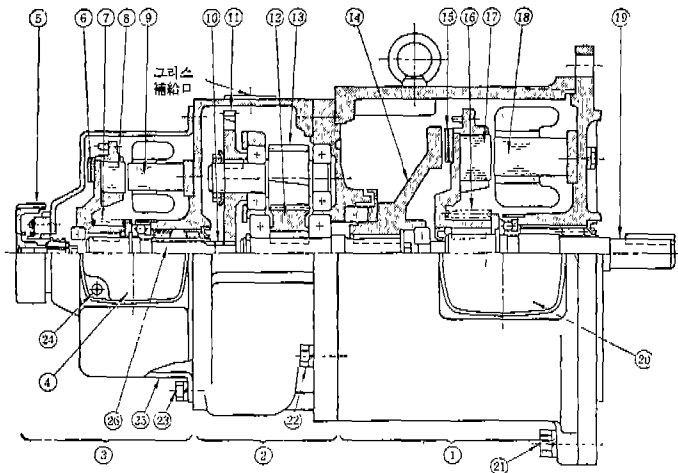
보통은 별로 사용되지 않는다.

(3) 電氣 서보

驅動 액츄에이터로서 電氣 모터를 사용한 서보로서, 에너지 절약, 정속성, 클린, 메인テナンス가 간단하다는 특징이 있다. 現狀은 오토 로더에 많이 사용되고 고급인 産業 로봇에의 보급은 지금부터라고 할 수 있다.

(가) 電氣 액츄에이터의 종류

전기서보의 액츄에이터로서는 交流 인덕션 모터, 直流 서보 모터와 펄스 모터로 대별되며, 각



항	명 칭
①	고속용AG 브레이크 모터 (母 모터)
②	기어 감속기구
③	저속용AG 브레이크 모터 (子 모터)
④	단자함 (子 모터용)
⑤	브레이크 이완 핸들
⑥	브레이크 라이닝
⑦	제동용 스프링
⑧	회전자
⑨	고정자
⑩	1 단계 피니온
⑪	1 단계 기어
⑫	2 단계 기어
⑬	2 단계 피니온
⑭	브레이크 (클러치) 관
⑮	브레이크 라이닝
⑯	제어용 스프링
⑰	회전자
⑱	고정자
⑲	출력축
⑳	단자함 (母 모터용)
㉑	브래킷 체결 볼트
㉒	체결 볼트
㉓	커버 체결 볼트
㉔	단자함 체결나사
㉕	커버
㉖	샤프트

出力(kW)	減速化	制動토크	*出力轉數	重量	CG ²
0.4~0.1	1/10, 1/30	0.7 kg·m	1500/150,50 rpm	36 kg	0.04 kg·m ²
0.75~0.1	1/10, 1/30	1.25	1500/150,50	50	0.137
1.5~ $\frac{0.4}{0.2}$	1/10, 1/30	2.5	1500/150,50	81	0.28
2.2~0.4	1/10, 1/30	3.5	1500/150,50	98	

* 出力回轉數는 電源周波數 50Hz인 경우를 표시

〈그림 4·21〉 AG 母子 모터 (例)

각 特性에 맞는 검출기와 조합된 서보 구동 시스템으로서 사용되고 있다.

(a) 交流 인덕션 모터

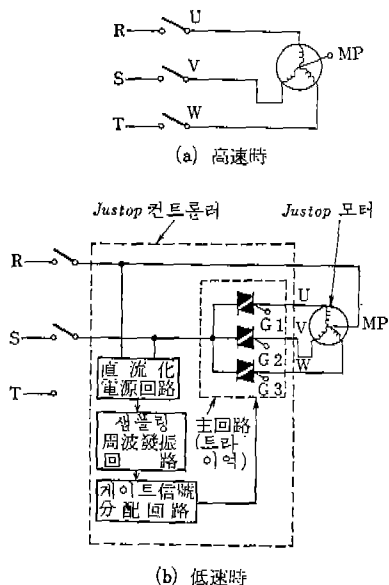
오토 로터의 走行, 산업용 로봇의 走行 등에 자주 사용되는 것에 AG 母子모터가 있다.

이것은 통상의 3상 교류 인덕션 모터와 같은 原理에 의한다. 構造는 軸方向에 空隙을 가지는 액셀 갭形인 인덕션 모터로 通電時에 발생하는 강력한 磁氣 吸引力을 이용해서 低速 모터축과의 클러치의 연결을 하게 되어 있다(그림 4·21).

또 하나의 예는 통상의 3상 교류 인덕션 모터를 고속 회전에서는 60Hz의 정상적인 電壓을 가해서 구동하고 저속 회전에서는 쉬운 方法으로 低周波 電源을 만들어 이 전압을 가하는

方式이다(그림 4·22). 또 이 두 예와 같은 低速度를 설치하지 않고 갑자기 고속 회전의 인덕션 모터의 捲線에 직류전류를 흘려 다이내믹 브레이크를 걸어서 急速 停止를 하는 方法도 취해지고 있다. 어느 경우에도 인덕션 모터로서는 도중의 速度制御를 할 수 없으므로 PTP 위치결정 중에서도 가장 單純한 용도에만 적용할 수 있다

(b) 直流 서보 모터



〈그림 4·22〉 Justop 의 構成

PTP, CP에서 高頻度, 高速, 高精密도가 요구되는 경우에 사용된다. 현재 시판되는 直流 서보 모터는 대부분이 界磁에 영구자석을 사용한 것으로서 電機子에 전압을 가하기만 하면 되는

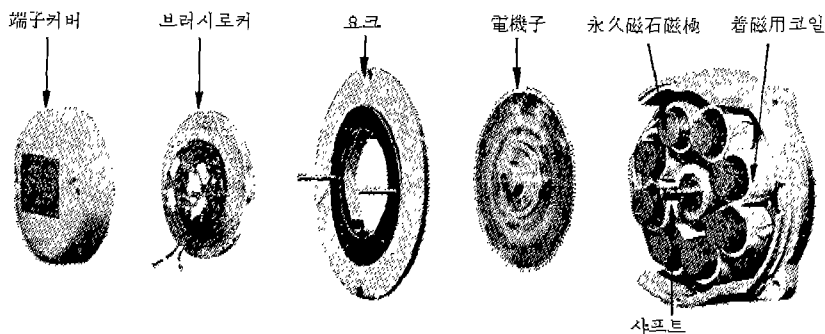
사용하기 쉬운 타입의 것이다.

그림 4·23은 500W 이하의 小容量 용도에 사용되는 프린트 모터로서 전기자는 銅板을 打披한 코일을 2~4매 겹쳐서 만들고, 鐵心이 없으므로 慣性이 작고 應答性도 좋다. 외형이 扁平하고 容量에 비해 小形輕量이라는 특징이 있다.

그림 4·24는 캡 모터인데 프린트 모터의 銅板을 圓筒形으로 겹친 구조의 電機子를 가지고 5.5kW의 용량까지 낼 수 있다. 프린트 모터에 비하면 관성도 크고 서보 성능은 약간 저하한다.

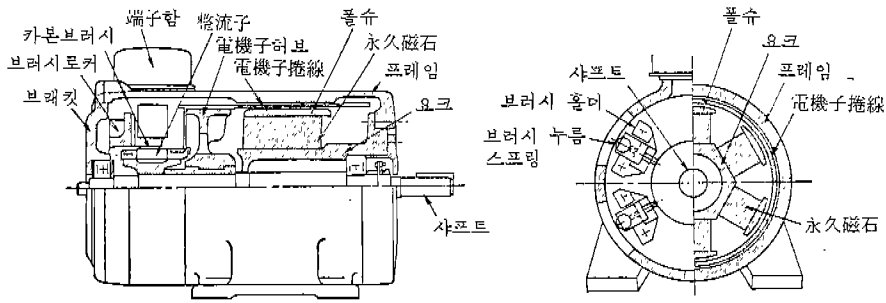
용량도 크고 서보 성능도 우수한 것으로는 미너서 모터가 있다. 이것은 電機子를 가늘고 길게 함으로써 미너서를 작게 하여 强대한 界磁 마그넷에 의해 起動 토크의 증대를 도모한 것이다 (그림 4·25).

이상과 같은 直流 서보 모터의 전기자에 전류를 흘리기 위한 드라이브 장치로는 다이리스터에 의해 교류전원 사이클의 필요한 部分만을 꺼내서 直流을 만드는 이른바 다이리스터 制御電源이 사용된다(그림 4·26(a)). 이 다이리스터 制御電源에 대신하여 純直流電源에서 전류를 高速(1~10kHz)으로 단속시켜 그 단속의 폭(펄



形式 UCPMEM-	82	92	122	162
定格出力(w)	50	100	200	500
定格토크(kg-cm)	1.22	2.43	6.5	19.5
定格回轉數(rpm)	4000	4000	3000	2500
機械的時定數(s)	0.0092	0.0079	0.0074	0.0067

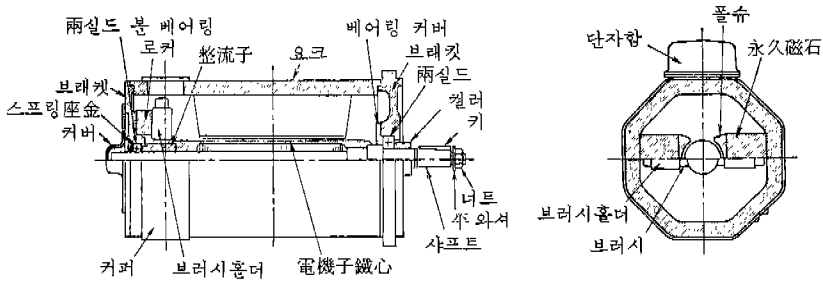
〈그림 4·23〉 프린트 모터(例)



컵 모터의 構造

形式 UGCMEM-	04	08	15	22	37	55
定格出力(w)	400	750	1500	2200	3700	5500
定格토크(kg-cm)	22.3	41.7	83.5	123	206	306
定格回轉數(rpm)	1750	1750	1750	1750	1750	1750
機械的時定數(s)	0.031	0.020	0.011	0.012	0.010	0.012

〈그림 4·24〉 컵 모터(例)



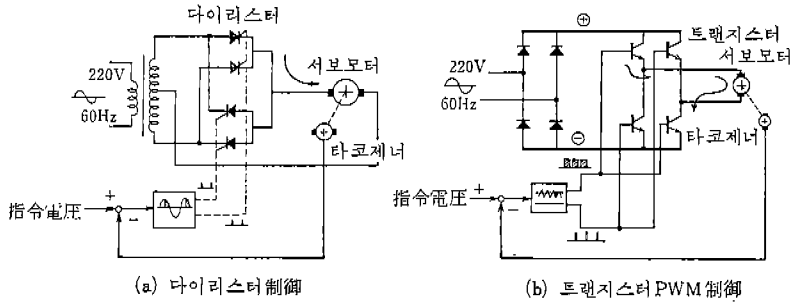
形式 UGMEM-	6EM	13EM	25EM	50AA1	1AAA1	2AAA1
定格出力(w)	180	390	750	1500	3000	6000
定格토크(kg-cm)	6	13	25	50	100	200
定格回轉數(rpm)	3000	3000	3000	3000	3000	3000
機械的時定數(s)	0.0047	0.0046	0.0042	0.0032	0.003	0.0034

〈그림 4·25〉 미너셔 모터(例)

스 폭)을 바꿈으로써 평균 전압의 높이를 바꾸려는 PWM (Pulse Width Modulation) 制御電源을 사용하게 되었다(그림 4·26(b)).

이 方式은 사이리스터 제어전원이 商用 周波數 50/60Hz를 베이스로 하고 있기 때문에 전류

가 흐르기 시작하기까지의 낭비 시간이 8~10 ms나 있기 때문에 응답이 늦고, 서보 모터 자체의 性能이 충분히 活用되지 않는다는 缺點을 보충하는 것으로서 낭비시간은 1/10~1/100까지 작아지고 거의 뒤짐이 없는 制御가 가능하다.

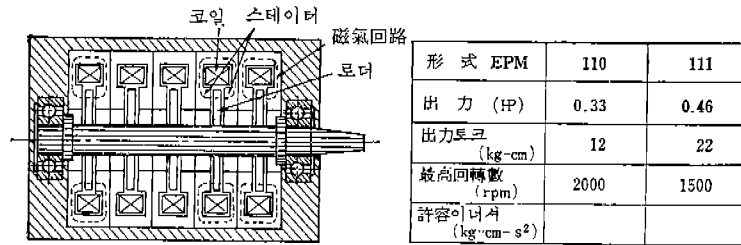


〈그림 4·26〉 서보 모터 制御電源

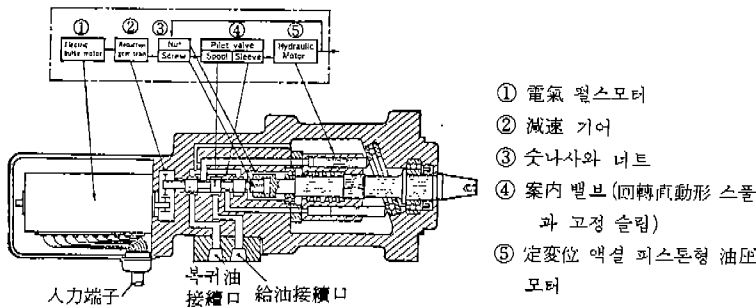
서보 모터에 흐르는 전류가 純直流에 가까우므로 出力 토크의 진동도 작고 出力 토크도 거의 損失없이 꺼낼 수 있다.

(c) 펄스 모터

펄스 모터는 위치검출기 등을 사용하지 않고도 모터 自体가 정확히 指令된대로 回轉量만을 회전하도록 만들어졌다. 위치지령으로서의 펄스列이 주어지면 펄스 모터의 捲線에 흐르는 勵磁



(a) 電氣 펄스모터



形式 EPHM	1/5-sss	1/2-sss	1-sss	3-sss
出力 (HP)	0.8	2.2	4.2	6.0
出力토크 (kg-cm)	37	125	240	610
最高回轉數 (rpm)	2000	2000	2000	1000
許容이너셔 (kg-cm-s ²)	3×10^3	1.5×10^2	4.5×10^2	3×10^1

(b) 電氣油壓 펄스 모터

〈그림 4·27〉 펄스 모터 (例)

電流의 相이 계속 바뀌고 로터는 정확히 스텝狀으로 회전한다(그림 4·27(a)).

펄스 모터는 입력 펄스 속도가 높아지는데 따라서 出力 토크가 감소하는 特性을 가진다. 加減速 시의 슬로 업, 슬로 다운 또는 불균형이 큰 이너셔의 부하를 구동할 수는 없다. 이 문제를 해결한 것으로서 펄스 모터의 出力 토크를 油壓 모터로 增力한 電氣-油壓 펄스 모터가 있다(그림 4·27(b)).

(나) 電氣 서보의 특징

電氣 서보에 있어서는

- 用途에 맞춘 액츄에이터를 선택할 수 있다.
- 制御信號가 電氣만에 통일되고 메인テナンス 상 有利.
- 配管工事, 移設의 번잡성 등 油壓配管에 얽힌 문제가 없다.
- 廢油處理, 기름 누설, 油壓源의 發熱, 소음 등 문제가 없다.

○온도 특성이 安定되고 워밍업이 소용 없다는 등의 특징이 있다. 반면, 油壓源의 共通化라는 코스트 저감에 결정적인 수단을 갖지 않고 액츄에이터가 크고 산업용 로봇에의 장착이 스마트하지 못하다는 문제점도 함께 가지고 있다. 그러나 이 문제는 전기 서보의 本質的인 것이 아니고 액츄에이터로서 산업용 로봇에 요구되는 형태·성능이 더욱 明確해지면 해결될 것으로 보고 있다.

電氣 액츄에이터에서는 반드시 操作端의 작용으로 변환하는 기어, 리드 스크류 등의 메커니즘이 필요하고 특히 큰 推力을 요하는 경우, 이 메커니즘 코스트가 높아진다. 그래서 메커니즘 대신 큰 힘을 낼 수 있는 油壓을 이용한다는 생각도 成立되는데 전기 서보 모터의 회전으로 油壓 펌프를 돌리고 操作部에 油壓 실린더나 油壓 모터를 사용하기도 한다. 이와같이 電氣다, 油壓이다 하지 않고 최적인 기구의 조합이 앞으로 더욱 필요해 질 것이다.

생

김 성 희

작아진 불씨들을
일구어 살리며
가슴깊이 담아 온
사랑의 그림자
하나의 답이 마련해 준
최후의 입맞춤을
영원일 수 있도록
인간의 무한정한 욕심
예감되는 중요한 늑음과
생의 마침표를 위해
사랑의 마음을 詩같은 삶으로
연결 어미를 찾으려
오늘을 산다.