

電動力設備의 에너지 節減技術



에너지 節減에 사용되는
各種 電動機

기어드 모터와 效果的인 使用方法

金善慶 譯

에너지 節減時代를 맞이하여 각종 電動機의 電力 節減對策이 각 분야에서 크게 크로즈업되고 있다.

電動力應用設備는 일반 產業用 電力量의 태반을 점유한다고 하니 그 에너지 절감효과는 매우 크다. 產業用的 動力源으로서도 가장 폭넓게 사용되고 있는 것에 標準電動機(低壓三相籠形電動機)가 있으나 이 電動機는 回轉速度가 1000~3600rpm으로 비교적 고속이기 때문에 실제로 負荷를 구동할 때는 어떠한 방법으로든 필요로 하는 低速回轉으로 減速시켜 사용하는 경우가 많다.

이 低速回轉을 얻을 수 있는 減速方式에는 여러가지 方式이 있으나 여기서는 그중 가장 일반적으로 쓰이는 減速機에 電動機를 오버행시켜 일체로 한 기어드모터(기어부착 전동기)에 대하여 다른 각종 減速方式과 경제성 등을 비교하여 가며 에너지 절감에 기여하는 효과적인 사용방법을 기술한다.

1. 기어드 모터의 機能

기어드모터는 電動機部分과 減速機部分으로 구성되어 減速機에 電動機가 오버행된 一體구조로 되어 있다.

減速機의 내부는 齒車(기어)에 의한 減速機構로 되어 있어 電動機出力軸의 回電力(토크)를 기어의 종류·조합에 의하여 소요의 회전속도로 감속하여 최종출력축에 動力을 전달한다. 구동용 電動機는 거의 일반電動機와 같이 취급된다.

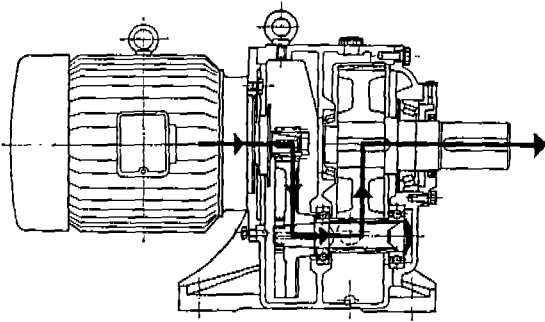
그림1은 가장 많이 사용되고 있는 外接齒車式 기어드모터 動力傳達 順序를 표시한 것이다.

2. 기어드 모터의 개요

가. 기어드 모터의 種類

현재 널리 사용되고 있는 기어드모터의 減速機構에는 平齒車系의 外接齒車式, 遊星齒車式 및 나사 상태의 齒車系의 워밍 등이 있다. 이들의 減速機構의 구조와 특징을 표1에 표시한다.

운환유에는 그리스와 오일 등이 쓰여지나 小容量機動에는 그리스 윤활방식이 채택되는 경우가 많고 中·小容量機種에서는 주로 오일 윤활방



〈그림 1〉 動力傳達順序

식이 적용된다.

減速機의 효율은 外接齒車式의 2段減速에서 그리스 윤활의 경우 92~95%, 오일 윤활에서는 96~98%이다.

일반용도에는 平齒車系의 기어드 모터를 사용하는 것이 가격으로도 에너지 절감의 관점에서

도 유리하나 설치하는데 제한이 있어 直交軸이 필요한 경우 혹은 高減速比를 얻고자 할 때는 蝸輪式이 효과적이다.

나. 기어드 모터의 特徵

기어드모터의 특징에는 다음과 같은 것이 있다.

(1) 높은 傳達效率로 低速을 얻을 수 있다

1단減速으로 98~99%, 2단減速으로 95~98%의 傳達效率가 있기 때문에 電動機로부터의 動力을 허비없이 써서 에너지 節減을 하는데 가장 적당하다.

(2) 콤팩트하여 취급이 간단

驅動源은 籠形誘導電動機를 사용하고 있기 때문에 保守·點檢이 쉽고 減速機와 電動機가 일체

〈표 1〉 主된 減速機構의 比較

種類	外接기어式 (평기어式)	遊星기어式	蝸輪式
構造			
特徵	<p>서로 물리는 한쌍의 기어는 平行軸으로 소위 外接 맞물림 기어 기구이다.</p> <p>① 구조간단, 조립, 분해가 쉽다.</p> <p>② 同 減速機들에 여러가지 감속 비기어를 共用할 수 있다.</p> <p>③ 효율이 좋고 오일윤활의 2단 감속으로 95~98% 된다.</p> <p>④ 공작이 쉽고 고정도의 것을 얻을 수 있다.</p> <p>⑤ 원활한 운전이 된다.</p>	<p>電動機軸 피니온이 太陽기어로 이를 둘러싼 수개의 유성기어와 유성기어를 지지하는 암 및 내기어에 이루어진다.</p> <p>① 몇段 중첩하여도 同 軸心이고 전체가 원통형으로 콤팩트하여 小形化되어 있다.</p> <p>② 감속부품이 많고 복잡하다.</p> <p>③ 高精度의 부기어를 사용하여 힘의 配分이 不平衡할 때는 周期音을 발생시킬 때가 있다.</p>	<p>蝸輪, 蝸輪호일의 기구를 사용, 주로 직각축방향으로 회전을 전달한다.</p> <p>① 出力軸이 볼드軸과 段이 틀려 直交하는 방식이다.</p> <p>② 효율이 나쁘다 (고정도인 것은 효율이 좋다)</p> <p>③ 셀프록가 된다.</p> <p>④ 구조가 간단하고 감속비 1/60이 된다.</p> <p>⑤ 백러슈가 없다.</p>

가 되어 小形·輕量으로 취급 및 설치작업이 간단하다.

(3) 保守·點檢이 容易

수명이 길고 고장이 적어 潤滑油의 교환(교환 간격은 오일 潤滑로 2500시간, 그리스 潤滑로 10,000시간 이상) 이외에 保守하는데 손질이 필요없다.

다. 기어드 모터의 標準 仕様

기어드 모터의 容量範圍는 대략 0.1~37kW, 또 減速比範圍는 대략 1/10~1/30로 모든 産業機械用的 汎用品으로서 市場성이 좋다. 驅動用 電動機는 부착치수가 전용의 플랜지부착 籠形誘導電動機가 사용된다. 또 出力에 따라 單相電動機와 三相電動機가 쓰인다. 또 出力에 따라 單相電動機와 三相電動機로 사용이 구분되고 0.75 kW 이하이면 單相電動機로 사용된다.

三相기어드 모터의 표준사양은 표 2와 같고 또 減速比와 出力軸回轉速度의 관계를 표 3에 표시한다.

〈표 2〉 標準 仕様

種 類	三相 기어드모터	
電 源	三相200V-50Hz, 200/220V-60Hz	
電 動 機	準據規格	JIS C4, 210, 4, 004
	外被構造	全閉外扇形
	絶緣種別	E, B, F種
	端子函位置	減速機軸端側에서 보아 左側
	口 出 線	3.7kW以下... 3線端子(直入起動) 5.5kW以上... 6線端子(스타·델타起動可能)
기어減速機	減速方式	外接齒車方式(플라이휠 기어) 2段·3段減速
	潤滑方式	그리스潤滑 또는 오일潤滑(油浴飛沫方式)
周圍條件	溫 度	-20~40℃
	濕 度	100%以下
	高 度	標高1,000m以下
	雰 圍 氣	부식성가스, 폭발성가스·蒸氣가 없을 것
장 치 방 식	腳장치 및 플랜지 장치	
設 置 角 度	설치각도 제한없음(그리스 운할) 또는 설치각도 제한있음(오일 운할)	

3. 低速을 얻는 다른 方式

기어드 모터와 같은 정도의 回轉速度를 얻는 減速方式으로서 多極電動機나 체인·벨트 驅動이라는 方式이 있다. 이하 각기의 특징에 대하여 기술한다.

가. 多極電動機에 의한 方式

(1) 回轉速度

誘導電動機의 出力軸回轉速度는 다음 식으로 계산된다.

$$N = \frac{120f}{P} \text{ [rpm]} \quad (1)$$

여기서 N: 同期回轉速度 [rpm]

P: 電動機極數

f: 電源周波數 [Hz]

기어드 모터와 같은 정도의 回轉速度를 얻으

〈표 3〉 減速比와 回轉速度

減速比	電動機極數	出力軸回轉速度 [rpm]	
		50Hz	60Hz
1/10	4	150	180
1/15	4	100	120
1/20	4	75	90
1/30	4	50	60
1/30	6	33	40

(註) 出力軸回轉速度는 電動機의 同期速度와 公稱 減速比를 감안하여 計算한 값

려면 商用電源을 사용하였을 때 極數를 크게 하면 된다는 것을 위식에서 알 수 있다. 그러나 誘導電動機의 極數는 固定子 슬로트數에 의하여 결정되는 것으로 일반적으로 小容量機種에서는 36~54슬로트 정도가 固定子鐵心の 打拔性 등

〈표 4〉 기어드모터와 一般電動機의 回轉速度範圍

出力軸回轉速度 [rpm]		기어드모터	一般 電動機	備 考
50Hz	60Hz			
3,000	3,600	—	2極	2極 標準電動機
1,500	1,800	—	4極	4極 標準電動機
1,000	1,200	—	6極	6極 標準電動機
750	900	4極-1/12	8極	多極電動機製作 可能
∴	∴	∴	∴	
188	225	4極-1/8	32極	
176	212	4極-1/8.5	34極	
150	180	4極-1/10	—	多極電動機製作困 難(다만 中容量 機 이상은 제외)
100	120	4極-1/15	—	
75	90	4極-1/20	—	
50	60	4極-1/30	—	
33	40	6極-1/30	—	

(註1) □는 일반의 기어드 모터의 回轉範圍

(註2) 出力軸回轉速度는 電動機의 同期速度와 公稱減速比를 고려하여 계산한 값

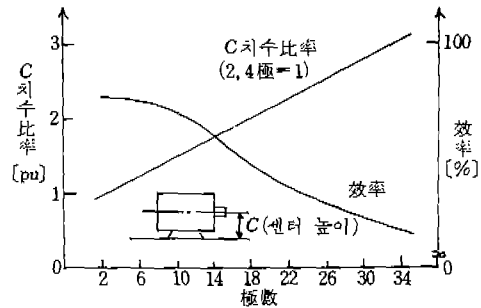
제조면 가격면의 문제에 의하여 한계가 되어 극단적으로 극수를 늘리는 것은 불가능하다. 固定子슬롯 수가 36슬롯이면 이론적으로는 최대 34극의 平衡捲線이 가능하게 된다. 34극의 경우 出力軸回轉速度를 앞서 기술한 (1)式으로 계산하면 167/212rpm (50/60Hz)가 되어 기어드모터의 감속비 1/8.5, 驅動電動機極數 4極에 해당한다. 多極電動機와 기어드모터의 회전속도의 비교를 표 4에 표시한다. 多極電動機의 회전속도는 기어드 모터의 驅動電動機 4極으로 감속비 1/2~1/8.5정도에 해당하고 일반적인 기어드모터보다도 고속의 범위에 해당한다.

(2) 極數와 效率 사이즈

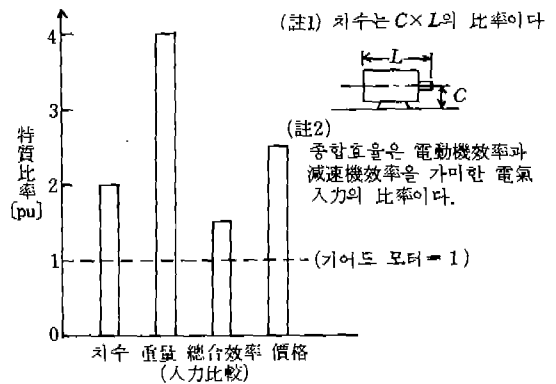
電動機의 電氣使用合理化運轉을 하기 위하여는 효율이 높은 電動機를 선정할 필요가 있다. 電動機의 效率는 다음 식으로 표시된다. 이식의 손실의 大小에 따라 효율이 결정되어 손실이 적을수록 효율이 높고 에너지 節減이 가능하다.

$$\text{效率} = \frac{\text{出力}}{\text{入力}} \times 100 = \frac{\text{出力}}{\text{出力} + \text{損失}} \times 100(\%) \quad (2)$$

일반적으로 극수를 크게 하면 勵磁電流가 증가하며 力率이 저하된다. 동일출력에서 極數가 많은 電動機를 설치할 때는 電動機의 테번호를 크게 하거나 갭길이를 줄임으로써 磁束密度를 감소시켜 勵磁電流의 증가를 극력 억제하도록 하는 대책을 취하고 있다. 그러나 이들의 대책도 가격면, 기계의 사이즈 등의 제약으로 한계가 있어 電流의 증가에 의한 銅損의 증대를 줄일 수 없어 그림 2와 같이 아무리 하여도 효율이 떨어진다. 4極-0.4kW-減速比 1/5의 기어드모터와 多極電動機 20極~0.4kW와의 특질비교를 그림 3에 표시한다. 기어드모터를 1로 하였을 때 多極電動機는 치수가 약 2배, 중량은 약 4배가 되어 치수가 커진 것을 알 수 있다. 또 綜合效率(入力換算)은 약 1.5배로 多極電動機의 所



〈그림 2〉 多極電動機의 머신사이즈와 效率



〈그림 3〉 기어드모터와 多極電動機의 特質比較

要電力량이 기어드모터를 上回하고 있어 가격도 약 3배나 고가가 된다.

(3) 多極電動機의 채택

多極電動機의 특징을 정리하면 다음과 같다 (표 5 참조).

- (i) 電動機單體로 低速回轉速度를 얻을 수 있다.
- (ii) 效率은 極數가 많아짐에 따라 나빠진다.
- (iii) 極數의 증가에 따라 電動機사이즈가 커진다.
- (iv) 保守·點檢이 매우 쉽다.
- (v) 일반적인 기어드모터의 低速回轉速度 범위는 제작이 곤란하다.

이상과 같이 기어드모터 나뉘머로의 低速回轉을 電動機의 다양화에 의하여 얻고자 할 때의 이점은 적다. 그러나 多極電動機는 저소음, 보수·유지의 불필요, 신뢰성의 향상 등이 필요한 냉각탑용, 냉동기용, 기타 특수용도에서 다수 사용되고 있다. 이와 같이 多極電動機는 450rpm 정도의 回轉數 범위까지는 가장 우수한 低速回轉을 얻는 감속방법이라 할 수 있다.

나. 벨트 驅動에 의한 方式

(1) 回轉速度

벨트 驅動의 速度比를 변경함으로써 기어드모터와 같은 정도의 低速을 얻을 수 있다. 벨트 驅動과 기어드 모터의 회전속도의 비교를 표 6에 표시한다. 벨트 驅動의 속도비는 1段당 1:6이하(최대 1:15), V 벨트는 1:7이하(최대 1:10)에서 2단 사용하면 기어드모터 정도의 低速을 얻을 수 있다. 단 벨트의 슬립이 1~2% V 벨트에서는 1%이하이므로 이 슬립을 감안하여 돌 필요가 있다.

(2) 傳達效率

벨트 驅動의 傳達效率은 1단당 90~98%로 V 벨트 쪽이 1:1 벨트보다 슬립이 적은 분만큼 효율이 좋다. 또 傳達效率이 좋은 벨트로서 타이밍벨트(齒付 벨트)가 있다. 이에 의하여 2%정도 효율이 개선되게 되나 실제로는 速度比가 큰 増速·減速用에 적용되는 때가 많고 축받이 마찰손이나 공기저항이 커져 큰 효율개선은 바랄 수 없다.

〈표 5〉 多極電動機, 벨트 驅動, 체인 驅動의 特徵

	多 極 電 動 機	벨 트 驅 動	체 인 驅 動
長點	<ul style="list-style-type: none"> ① 電動機單體에서 기어드모터와 같은 低速을 얻을 수 있다. ② 電動機만의 保守로 되고 保守이 容易 	<ul style="list-style-type: none"> ① 1段 또는 2段으로 기어드모터와 같은 低速을 얻을 수 있다. ② 速度조정이 된다. ③ 기구가 간단하고 염가이다. 	<ul style="list-style-type: none"> ① 效率이 좋다. 1段에서 95~98% ② 1段 또는 2段에서 기어드모터와 같은 저속을 얻을 수 있다. ③ 속도조정이 되고 확실하게 速度比가 얻어진 傳達動力이 크다. ④ 機構가 간단하고 염가이다.
短點	<ul style="list-style-type: none"> ① 效率이 다소 떨어진다. ② 極數의 증가에 따라 電動機 사이즈가 커진다. ③ 일반적인 기어드모터의 회전 속도범위는 제작곤란. 	<ul style="list-style-type: none"> ① 유지·보수(길이, 장력)에 손이 많이간다. ② 벨트振動, 소음이 있다. ③ 耐환경성의 문제가 있다(熱, 油, 水, 분진 등). ④ 帶電에 要注意 ⑤ 기어드모터보다 효율이 떨어진다. 	<ul style="list-style-type: none"> ① 유지·보수(조정, 윤활)에 손이 많이간다. ② 진동·소음이 크다.

〈표 6〉 기어드 모터, 벨트 驅動, 체인 驅動의 回轉速度範圍

出力軸回轉速度 (rpm)		기어드모터	벨트 驅動	체인 驅動	備 考
50 Hz	60 Hz				
3,000	3,600	—	—	—	2 極 標準電動機
1,500	1,800	—	—	—	4 極 標準電動機
1,000	1,200	—	—	—	6 極 標準電動機
750	900	4 極 - 1 / 2	↑ 平벨트 ↑ V 벨트	↑	8 極 電 動 機
⋮	⋮	⋮	(1 段)	(1 段)	
150	180	4 極 - 1 / 10	(1 段) *	*	
⋮	⋮	⋮			
100	120	4 極 - 1 / 15	* (2 段)	(2 段)	
⋮	⋮	⋮			
75	90	4 極 - 1 / 20	(2 段)		
⋮	⋮	⋮			
50	60	4 極 - 1 / 30			
⋮	⋮	⋮			
33	40	6 極 - 1 / 30			
⋮	⋮	⋮			

(註 1) □ 은 일반적인 기어드모터

(註 2) 出力軸回轉速度는 電動機의 同期速度와 公稱減速比를 기초로 計算한 값이다.

(3) 벨트 驅動減速의 특징

벨트구동은 기구가 간단하고 값도 싸며 표5에 표시한 바와 같은 長點·短點이 있다. 그러나 기어드모터의 1/10~1/30정도의 減速比를 얻으려면 2단으로 할 필요가 있어 기어드모터에 비하여 傳達效果가 떨어진다. 또 熱·油·水分·분진 등의 耐環境性이 떨어지기 때문에 선정하는 데 있어 주의하여야 한다.

다. 체인 驅動에 의한 方式

(1) 回轉速度

벨트 驅動과 같이 체인 驅動에서도 그 速度比를 변경함으로써 기어드모터와 같은 정도의 低速을 얻을 수 있다. 이들의 관계를 표 6에 표시한다. 체인 구동의 감속비는 1단당 1:7이하 (최대 1:10)으로 2단 사용하면 벨트 驅動과 같이 일반적인 기어드모터와 같은 정도의 저속회전속도를 얻을 수 있다. 체인 驅動은 벨트 驅動과

같이 슬립을 고려한 回轉速度의 조정은 필요치 않고 速度比 精確하게 얻을 수 있다.

(2) 傳達效率

체인 驅動의 傳達效率은 95~98%로 높고 2단 사용 (30~150rpm의 回轉速度를 얻을 때)에서도 2~3% 정도의 效率低下가 있어 벨트 驅動에 비하면 우수하나 기어드모터에 대하여는 약간 나쁘다.

(3) 체인 驅動減速의 특징

체인구동에서의 특징으로서 표 5와 같은 것이었다. 체인구동은 벨트 구동과 같이 그 감속기구가 간단하고 염가이다. 벨트구동에 비교하면 速度比가 확실하고 전달동력을 크게 할 수 있는 이점이 있다. 그 반면 振動, 소음이 크고 윤활 등의 보수에 시간이 걸리는 번잡함이 있다. 그러나 벨트 구동에 비하여 비교적 내환경성이 우수하고 張力調整 등 보수면에서도 유리하다.

〈표 7〉 各種 減速方式의 特質

種 類	傳 達 效 率 [%]		減速範圍 [rpm]	價 格	유지·보수			
	構 成	總 合			스페이스	調整	耐環境性	保 守
기어드모터	標準電動機×減速機 (約85) (95~98)	○ 80~83	○ 900~5	△ 비싸다	○	○ 簡單	○	△ 潤滑油 의 交換
多極電動機	多極電動機	× 50~75	× 900~176	× 비싸다	△	○ 簡單	○	○
벨트 驅動	標準電動機×벨트 (約85) (90~98)	△ 77~83	× 900~100	○ 싸다	△	×	×	×
체인 驅動	標準電動機×체인 (約85) (95~98)	○ 80~83	× 900~150	○ 싸다	△	×	△	×

4. 各種 減速方式의 經濟性檢討

일정한 低速回轉速度를 얻어 부하장치를 구동하는 방식으로서 기어드모터, 多極電動機, 벨트 구동 및 체인 구동을 들 수 있고 주로 기어드모터와의 비교에서 각기 감속범위, 전달효율, 장점, 단점 등의 특징에 대하여 기술하였으나 실제로 에너지 使用合理化에 공헌하는 효과적, 경제적인 사용방법에 대하여 기술한다.

가. 傳達效率

電動機入力(電氣 에너지)를 最終의 低速軸動力(機械 에너지)으로 변환하는 사이의 綜合效率는 표 7에 표시하는 바와 같이

기어드모터 > 체인 驅動 > 벨트 驅動 > 多極電動機가 되어 기어드모터가 가장 좋다.

그러나 기어드모터에서 負荷와 직결할 때는 좋으나 負荷의 상황에 따라서는 다시 벨트·체인 등의 선정에 충분한 배려를 하여 보다 효과적으로 에너지 使用合理化가 될 수 있도록 검토할 필요가 있다.

나. 價 格

價格面에서는 벨트 驅動, 체인 驅動이 염가이나 머신사이즈가 상당히 커진다. 특수품의 多極電動機는 기어드모터에 비하여 가격이 비싸진다.

따라서 效率도 아울러 고려된 에너지 使用合

理化의 경제적효과는 기어드모터, 벨트 驅動, 체인 驅動이 좋다.

다. 取 扱

保守·點檢의 용이성은 多極電動機가 다른 감속방법에 비하여 매우 우수하다. 또 기어드모터와 벨트 驅動, 체인 驅動에서는 기어드모터쪽이 약간 우수하다.

이상의 검토결과를 정리하여 비교하면 표 7과 같이 되어 기어드모터가 우수하다는 것을 알 수 있다.

그러나 각종 減速方式이 일반적으로 적용되는 回轉速度는

3600~450rpm 電動機單位

900~150rpm 벨트·체인 驅動

180~30rpm 기어드모터

가 되기 때문에 이 회전속도범위도 고려한 후에 표 1, 표 7에 표시한 각기의 특징이 효과적으로 반영되는 방식을 채택할 필요가 있다.

또 負荷의 재검토로 그 운전방법이 경제적인가 아닌가를 조사하여 일정한 低速運轉뿐 아니라

(i) 2~3단의 단계적인 變速의 경우는 極數變換 電動機의 채택

(ii) 어느 범위에서의 無段變速이 필요한 때는 無變速電動機의 채택

을 검토한 종합적인 에너지 使用合理化 대책이 필요하다. (다음 호에 계속)