

地球에 부드러운 電氣自動車用電氣品

1. 머리말

21세기를 눈앞에 둔 오늘날 쌓아올린 技術文明은 우리들의 생활을 풍요롭게 하였다. 그 중에서도 큰 역할을 다하고 있는 自動車는 1965년경부터의 경제고도성장과 더불어 급속히 보급되어, 오늘날의 경제활동이나 생활향상에 없어서는 안될 교통수단이 되었다.

그러나 增大한 自動車에서 排出되는 가스에 포함된 NO_x (질소산화물), CO (일산화탄소), HC (탄화수소), 퍼티큘레이트(粒子狀物質 : 흑연과 未燃 HC 가 주성분), 흑연 등, 化石燃料을 연소시킴으로써 발생하는 「대기오염」물질은 인간의 건강에 미치는 영향이 문제가 되고 있다.

또 SO_x (硫酸化合物)나 NO_x 는 공기중에서 빗물에 녹아 「산성비」의 원인이 된다고도 하고 있다.

마찬가지로 化石燃料의 대량사용에 의한 CO_2 (이산화탄소)의 증가를 원인으로 地球大氣의 온실효과가 진전되어 기온이 조금씩 상승하고 있는 현상이 「地球溫暖化現象」이며 장래에 대한 깊은 우려를 자아내고 있다.

이러한 환경문제를 해결하는 수단 중의 하나로서 보급이 기대되고 있는 것이 電氣自動車(EV : Electric Vehicle)이다.

電氣自動車에는 排氣가스가 없다. 엔진의 회전음, 배기음이 없어 조용하며, 에너지效率이 높아 省에너지와 운전조작이 간단한 장점이 있다. 또 動力源인 전기는 석유뿐만 아니라 원자력, 수력, 천연가스, 석탄 등 에너지源의 多樣化도 기할 수가 있다. 바야흐로 전세계 自動車관련메이커의 거의 대부분이 電氣自動車の 개발·개량에 달려들고 있으며 그 技術은 현저한 진보를 보이고 있어, 都市圈의 발로서 실용에 가까운 단계까지 도달하고 있다.

또한 電氣自動車の 개발을 촉진시키는 또하나의 요인은 미국 캘리포니아州的 규제이다. 대기오염으로 고민하는 캘리포니아州는 1990년 지로·이미션法을 제정하여 1998년까지 州內 판매자동차 대수의 2%, 2001년까지 5%, 2003년까지 10%의 排出物質지로서 自動車(ZEV : 電氣自動車)의 판매를 自動車메이커에게 의무화하고 있다.

한편 일본국내에서는 通産省의 「電氣自動車普及計劃」 「에코스테이션 2000計劃」에 의하여 전기자동차 및 인프라관련 목표대수를 설정하고 있으나 경기회복의 지연과 현재의 전기자동차 성능, 가격 등의 면에서 普及페이스는 다소 늦어지고 있다.

그러나 최근 국내외에서는 전기자동차의 장점을 살릴 수 있는 분야에서 실용화하여 새로운 시장을 개척해가려는 움직임도 활발해지고 있다.

이와 같은 배경하에 환경보전이나 에너지문제의 관점도 포함하여 同社에서는 地球에 부드러운(너그러운) 電氣自動車の 驅動系 電氣品 및 인프리關聯機器의 연구·개발에 적극적으로 나서기로 하였다.

본고에서는 電氣自動車の 車種, 用途別要件의 검토도 포함하여 최근의 技術成果에 대하여 소개한다.

2. 驅動시스템의 構成

현재 實用車, 研究開發車를 합하여 일본 국내에서 수십종의 전기자동차가 발표되고 있는데 이들을 驅動 메커니즘을 주체로 분류하면 다음과 같이 대별할 수 있다.

(1) 컨벤셔널方式

가솔린自動車の 엔진을 제거하고 대신 모터를 장착한 형식이다. 트랜스미션의 사용으로 모터의 사이즈가 작아도 그 능력을 한도껏 끌어올릴 수가 있으며, 또 모터사양에 따라 전기자동차의 성능이 좌우되는 일이 비교적 적다.

(2) 미션레스方式

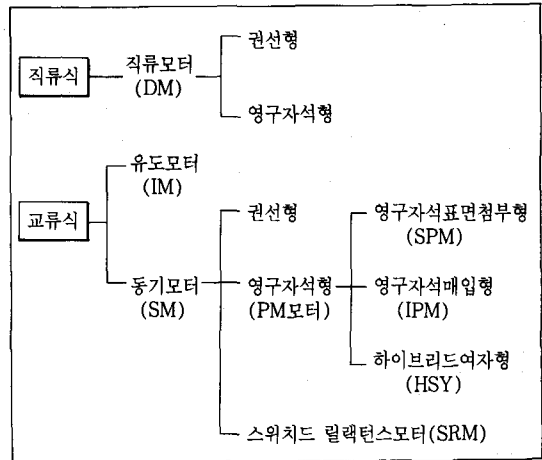
회전범위가 넓고 또한 저속에서 토크가 큰 모터를 탑재함으로써 트랜스미션을 없앤 형식이다. 트랜스미션의 傳達ロス, 質量, 스페이스가 삭감될 수 있고 클러치도 불필요하기 때문에 운전조작도 쉽게 된다.

(3) 「디프」레스方式

「디프」(差動裝置)를 없애고 최저 2개의 모터로 구동하는 형식이다. 지금까지의 예로는 전적으로 모터와 車輪 사이에 減速齒車를 삽입하여 모터토크를 크게 하여 사용하고 있다.

(4) 다이렉트드라이브方式

모터를 보디의 위가 아니라 車輪의 내부에 직접 조립한 형식으로 휘일인모터형식이라고도 부르고 있다. 최근에는 또한 減速齒車와 브레이크를 一體로 한 콤팩트한 驅動유닛의 개발도 추진되고 있다. 車體內의 有效스페이스가 증가하는 등의 이점이 있



<그림 1> 驅動모터의 種類

으나 스프링下質量이 증가하는 등의 과제도 안고 있다.

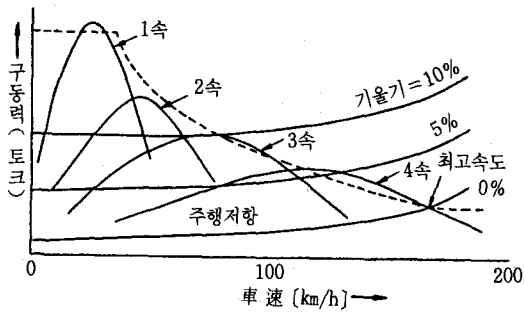
3. 驅動모터의 種類

그림 1에 電氣自動車用驅動모터의 대표적인 종류를 표시한다. 종래에는 제어가 단순하고 쉬운 直流모터(DM)가 사용되는 일이 많았으나 브러시의 교환과 高速化, 小形化가 곤란하다는 등의 결점이 있어 현재에는 交流式이 주류를 이루고 있다. 交流式은 브러시가 필요없고 구조도 간단하며 효율도 좋다는 장점과 더불어 최근의 반도체기술이나 전자회로기술의 진보에 따라 인버터가 더욱 高性能化되고 있다.

交流式을 대별하면 유도모터(IM)와 동기모터(SM)가 있다. 동기모터는 永久磁石을 사용한 것과 사용하지 않는 것이 있으며 前者는 대단히 높은 에너지積을 갖는 高性能希土類磁石의 實用化에 의하여 小形輕量化, 高效率化를 기하고 있다. 후자에는 捲線形이나 스위치드 릴렉턴스모터(SRM)가 있으나 實車搭載例는 적다.

4. 驅動시스템에 필요한 性能

그림 2는 車의 驅動特性을 나타낸 것이다. 점선



<그림 2> 走行性能曲線

으로 표시한 우로 하강한 포물선은 定出力特性이라고 하며, 출력은 일정하고 회전속도와 함께 토크는 低減한다. 高토크를 필요로 하는 登板路에서는 低速이 되고 平坦路에서는 高速을 얻을 수 있는 특성이 있다. 필요한 특성은 이 定出力特性이지만 엔진은 이 특성을 얻을 수 없기 때문에 기어체인지가 필요하게 된다. 한편 모터는 정출력특성을 갖도록 할 수가 있어 기어체인지가 필요없기 때문에 그 驅動系는 트랜스미션레스화의 방향으로 개발이 추진되고 있다. 驅動시스템에는 小形車로부터 大形車까지 그림과 같은 광범위한 정출력특성이 필요하다.

또한 自動車라고 하는 대단히 가혹한 환경에서 사용되기 때문에 종래의 일반산업용과는 다른 성능이 필요하다.

- (1) 小形, 輕量일 것
(일반산업용의 1/2~1/3의 小形, 輕량이 필요)
- (2) 高効率일 것
(모터, 제어장치의 總合効率向上이 필요)
- (3) 高信賴性일 것
(車兩이 놓이게 되는 환경조건에 적합할 것)
- (4) 코스트가 쌀 것

<표 1> 車種別驅動方式의 分類

모터容量	適用車	變速機	모터種類
小容量	輕自動車	無段變速機 등	PM모터
中容量	小形車	트랜스미션레스화	PM모터 IM
大容量	大形車	트랜스미션레스화	IM

(대량으로 보급하기 위해서는 저코스트화가 필요)
특히 電氣自動車에서는 배터리라고 하는 한정된 에너지로 조금이라도 긴 거리를 주행할 수 있는 것이 商品性을 크게 좌우하게 되므로 質量과 效率은 중요한 요소이다.

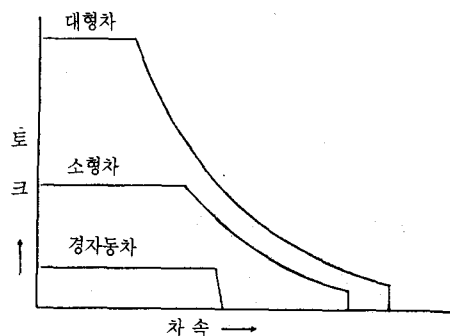
5. 車種別驅動方式의 評價

車種別로 본 驅動方式은 표 1과 같이 出力의 크기로 대별할 수가 있다.

出力이 작은 범위에서는 無段變速기어를 사용하는 경우가 많고 驅動特性은 定토크特性으로도 된다. 효율이 좋은 PM모터가 많이 사용된다.

小形車클래스 이상은 기어效率의 향상이나 操作性의 간편성, 경제성 등으로 트랜스미션레스화의 방향으로 가고 있으므로 기어체인지의 특성, 즉 定出力特性이 모터에 요구된다. 定出力特性의 한 예를 그림 3에 표시한다. 이 클래스 이상이 되면 PM모터와 IM이 모두 사용되고 있다.

大形車는 低速域에서 큰 토크가 필요하기 때문에 가솔린車에서는 變速比를 크게 하고 있다. 電氣自動車에서는 定出力범위가 넓은 모터特性이 필요하다. 큰 토크와 넓은 범위의 定出力특성이 필요하므로 모터사이즈는 커지게 되고 또한 고속이 된다. 그 때문에 견고하고 신뢰성이 높은 IM이 많이 사용된다. 大形車에서는 배터리積載量이 증가하기 때문에 실용적으로는 엔진發電機를 탑재한 하이브리드 自動車(HEV)로 되는 경향이다.



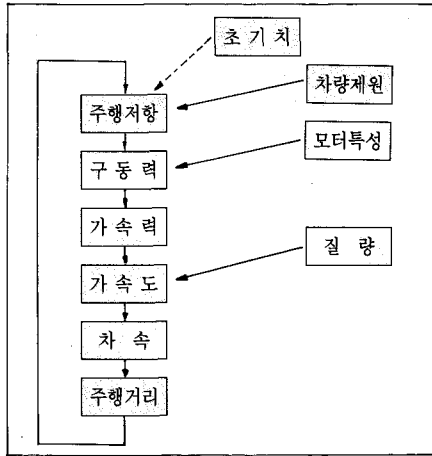
<그림 3> 車種別 驅動力特性

<표 2> 시뮬레이션에 必要한 車兩諸元

車兩諸元	車兩總質量
	회전摩擦係數
	空氣抵抗係數(Cd值)
	全面投影面積
	타이어半徑
	變速比
	最終減速比

<표 3> 시뮬레이션條件例

車兩諸元	車兩總質量	: 1500kg
	회전摩擦係數	: 0.015
	空氣抵抗係數(Cd值)	: 0.4
	全面投影面積	: 2.18m ²
	타이어半徑	: 0.261m
	變速比 1速	: 3.896
	2速	: 2.329
3速	: 1.532	
4速	: 1.017	
5速	: 0.834	
	最終減速比	: 6.306
目標 성능	最高速度 : 100km/h 이상 加速性能 : 0~200m 15s 登板性能 : 50km/h/10% 勾配	



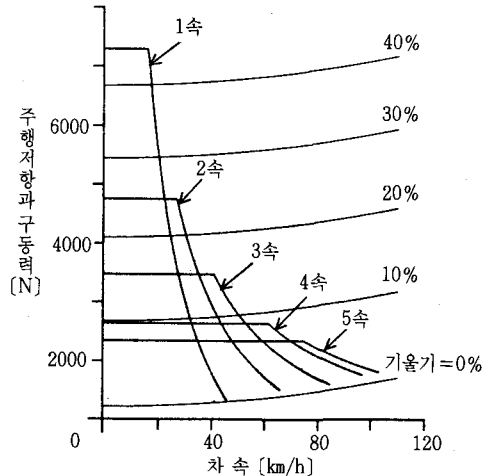
<그림 4> 計算順序

6. 走行性能시뮬레이션

電氣自動車에서는 한정된 에너지를 유효하게 이용하기 위하여 목표로 하는 動力性能(最高速度, 加速性能, 登板性能)을 달성하는 最適의 驅動容量을 선정하는 것이 중요하다. 이 선정된 驅動容量이 最適한지 아닌지를 判定하는데는 走行性能시뮬레이션이 유효하다.

시뮬레이션은 표 2에 표시하는 車兩諸元과 선정된 驅動容量을 기초로 그림 4의 계산순서에 따라 실행된다. 그 결과로서 驅動力特性, 時間-車速特性, 時間-走行距離特性을 얻을 수 있어 차량의 動力性能을 파악할 수가 있다. 또 시뮬레이션 조건으로서 배터리定數, 모터定數를 더함으로써 一充電走行距離의 평가도 가능하게 된다.

시뮬레이션의 一例로서 표 3의 조건으로 선정된



<그림 5> 驅動力特性

最適驅動容量에서의 시뮬레이션 결과를 그림 5와 그림 6에 표시한다.

7. 驅動시스템의 新技術

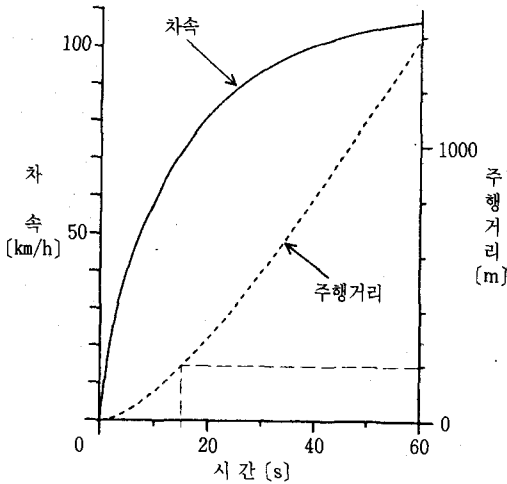
다음에 同社의 新技術을 소개한다.

7.1 小形, 輕量化의 推移

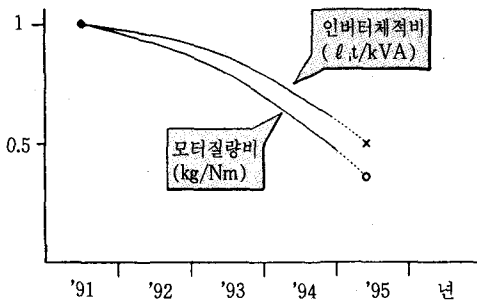
同社は 그림 7에 표시하는 것과 같이 높은 목표

를 내걸고 小形, 輕量化에 힘쓰고 있으며 지금까지는 다음에 드는 技術로 대응하여 왔다.

- (1) 모터의 高速化와 定出力범위의 확대
- (2) IGBT採用的 인버터主回路



<그림 6> 時間-車速·走行距離特性



<그림 7> 小形輕量化의 推移

- (3) 高速機대응의 벡터制御方式의 채용
- (4) 탑재차량에 적합한 水冷, 空冷方式對應技術의 확립

금후에는 7.2항 이후에 소개하는 新技術로 더욱 小形輕量化를 추진해 갈 것이다.

7.2 IM의 最大效率制御

驅動모터에 IM을 사용하여 가솔린車와 같은 운전감각을 얻기 위해서는 벡터制御를 적용하여 토크를 線形化하고 액셀信號에 따른 토크制御를 행하는 방식이 적합하다. 그러나 종래의 벡터制御에 있어서는 勵磁電流를 운전상태에 관계없이 一定하게 제어하고 있기 때문에 輕負荷時에는 모터의 鐵損비율이 커져 효율이 저하하는 문제점이 있다. 電氣自動車用모터에 있어서는 一充電走行距離를 향상시키기 위하여 효율이 증시되고 있으며, 全負荷範圍에 걸쳐 효율을 높이기 위한 制御法이 필요하며 특히 平坦路走行에서 경부하영역의 효율향상이 중요하다.

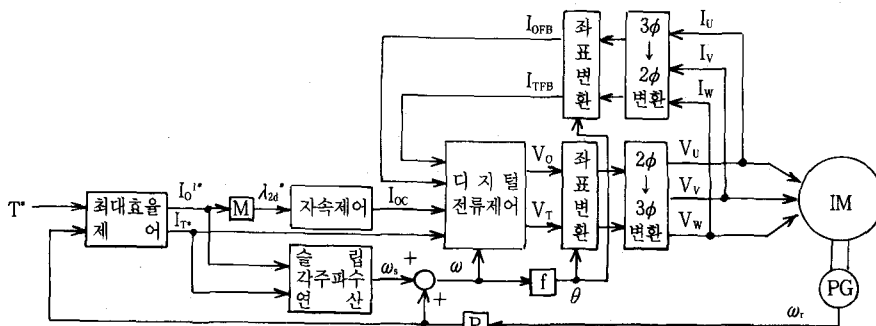
이 점을 개선하기 위하여 任意의 부하상태에 대해서 IM의 효율을 최대로 하는 여자전류(I_r)와 토크전류(I_o)의 관계를 검토한 결과 (1)식에 표시하는 최대효율의 조건식을 도출할 수 있어 이에 기초한 最大效率制御方式을 개발하였다.

$$A = \sqrt{(R_1 + R'_m) / (R_1 + R_2)} \dots\dots\dots (1)$$

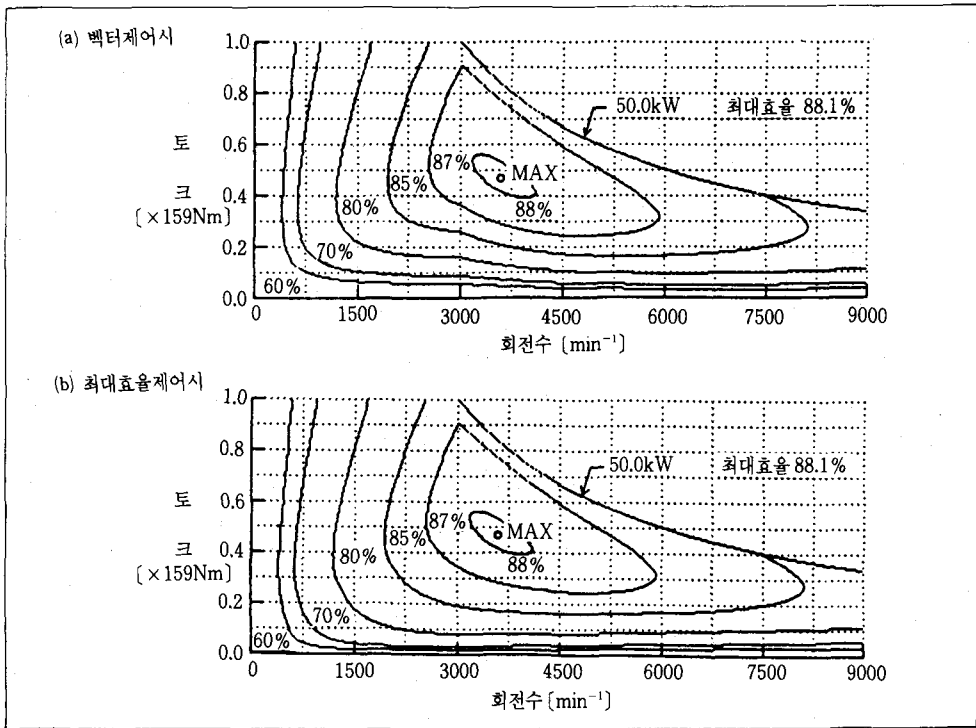
여기서 A : I_r/I_o (여자전류와 토크電流의 比)

R'_m : 등가철손저항

R_1, R_2 : 1次·2次저항



<그림 8> 最大效率制御블록圖



<그림 9> 效率맵

그림 8에 最大效率制御블록圖를 표시한다. 최대 효율제어부에서는 토크指令과 회전속도에 따라 효율을 최대로 하는 여자 및 토크電流의 指令値를 演算하고 있다. 여자제어부에서는 2次磁束應答의 高速化를 도모하여 여자전류를 변화시켰을 때 생기는 토크應答의 지연을 개선하여 加速感覺의 저하를 방지하고 있다.

이 制御方式의 有用性을 나타내기 위한 한예로서 최대출력 50kW/9000min⁻¹의 IM에서의 종래 벡터 制御時(a)와 最大效率制御時(b)의 效率맵(인버터와 모터를 합친 總合效率)을 그림 9에 표시한다. 이 그림에서 中低速域·輕負荷時의 효율을 10% 정도 향상시키고 있음을 알 수 있어 電氣自動車의 走行距離向上을 기대할 수가 있다.

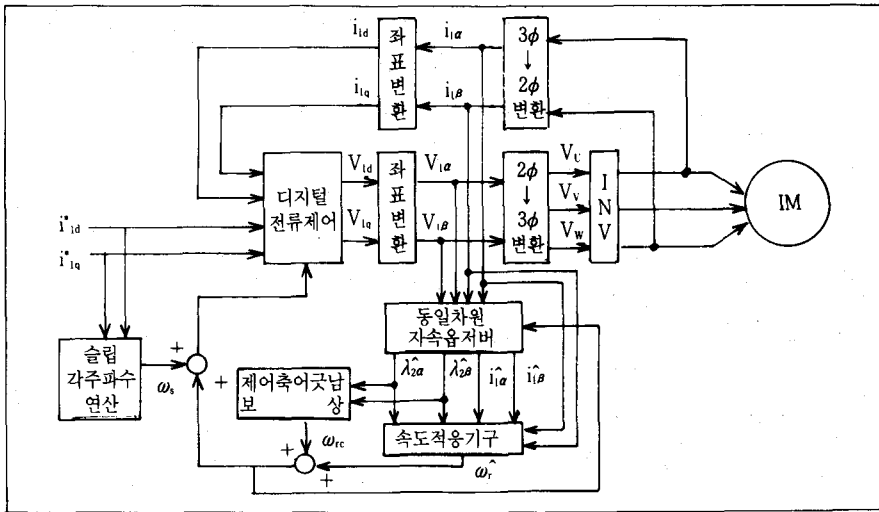
7.3 IM의 速度센서리스制御

IM을 적용한 電氣自動車에서는 모터制御方法으로서 벡터制御가 보급되어 있다. 이 벡터制御는 간

단히 토크制御할 수 있는 장점이 있으나 현재로는 速度센서를 필요로 하기 때문에 센서의 耐環境性이나 신뢰성, 나아가 모터의 小形化 및 低コスト化가 과제로 되어 있다.

그래서 同社는 上記課題를 해결하기 위하여 速度센서不要의 IM벡터制御方式을 새로 개발하였다. 이 제어는 폭넓은 제어범위가 큰 장점이며 15~9000회전(300Hz)의 제어범위를 실현하고 있다. 또 實車檢證을 하여 제어성능이 實用레벨에 있음을 확인하였으며 현재는 트랜스미션레스에의 적용을 목표로 개발을 추진하고 있다.

이 制御方式의 制御블록圖를 그림 10에 표시한다. 모터의 전압 및 전류 그리고 모터定數로부터 演算에 의하여 速度를 추정하고 이 추정속도를 사용하여 슬립周波數形 벡터制御를 구성하고 있다. 속도의 추정은 모터의 전압, 전류 및 모터定數를 사용하여 2次磁束 및 1次電流를 추정하는 同一次元磁束음저버와 이들 추정치를 사용하여 모터速度를 추정하는 速度適應部로 구성하고 있다.



<그림 10> 속도센서레스벡터制御 블록圖

7.4 하이브리드勵磁形 브러시리스同期모터 (HSY)

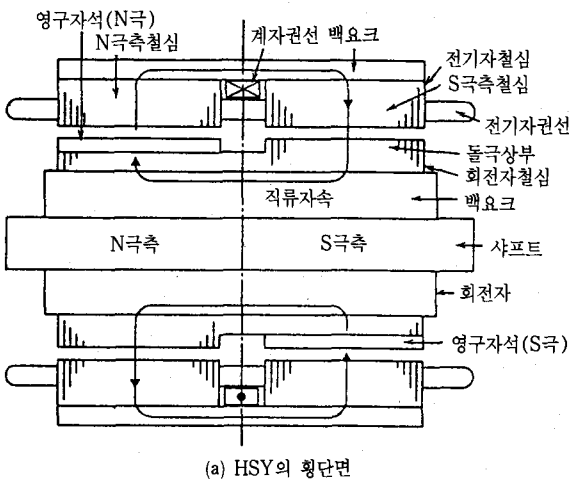
同社에서는 電氣自動車用으로서의 IM, PM모터를 제작하고 있다. 그러나 각각의 특성에 장단점이 있어 電氣自動車用으로 가장 알맞는 회전기의 개발도 시급한 과제이다. IM은 勵磁電流를 자유로이 조정할 수 있기 때문에 광범위한 속도제어에 위력을 발휘하지만 定토크領域의 효율이 PM모터에 뒤지는 경향이 있다. 한편 PM모터는 여자입력이 불필요하기 때문에 효율이 높다는 장점이 있으나 갭磁束이

磁石에 의하여 거의 일정하게 유지되기 때문에 定出力運轉 및 高速運轉時의 특성에 문제가 있다.

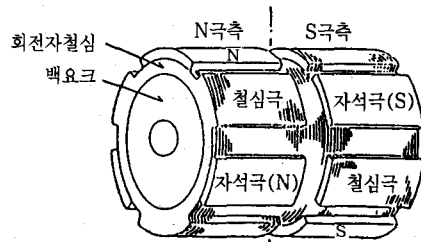
이들의 특성을 개선하기 위하여 新勵磁方式에 의한 HSY를 개발하였다(그림 11 참조). HSY는 永久磁石界磁과 直流界磁捲線을 겸비한 同期모터로 영구자석이 일정한 界磁암페어턴을 주고 부하에 따라 필요로 하는 界磁암페어턴을 界磁捲線으로부터 공급하는 것이다. 永久磁石으로는 高性能希土類磁石을 사용하고 있다.

HSY의 특징은 다음과 같다.

- (1) 직류전류에 의하여 界磁가 조정될 수 있으므로 종래의 PM모터에 비하여 界磁制御가 용이하게 되어 定出力운전 및 電壓制御를 필요로 하는 EV용 모터, HEV용 발전기에 적합하다.



(a) HSY의 횡단면



(b) 회전자의 구조

<그림 11> HSY의 基本構造

- (2) 브러시리스구조로 메인テナンス가 용이하게 된다.
- (3) 磁石의 磁束을 증감하는 종래의 PM모터 界磁制御에 비하여 勵磁에 필요한 전원용량이 적고 또 IM와 같이 2次銅損도 없어서 高効率 이 된다. 특히 發電機로 이용한 경우에는 AVR도 소형화할 수 있다.

7.5 IM의 풀체인지制御

同社は 또한 傳送미션레소화에 대응한 定出力 特性의 향상을 지향하여 IM의 풀체인지方式을 개 발하고 있다.

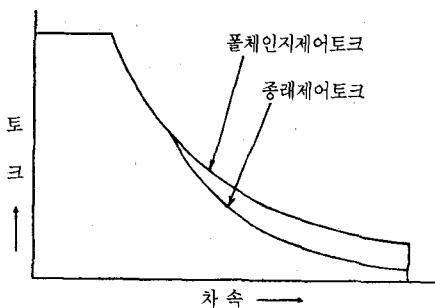
이 方式은 운전도중에 모터極數를 전환하여 高速 域의 特性을 향상시키는 것인데 모터와 인버터 사 이에 交替스위치는 불필요하다. 그림 12에 표시하 는 것과 같이 모터, 인버터의 용량은 같고 高速域 의 出力을 2~3배로 향상시킬 수 있다.

8. 自社製 改造電氣自動車

電氣製品의 性能檢査를 위해 改造電氣自動車를 自社에서 제작하였다.

1박스貨物車를 개조하였기 때문에 小形, 輕量化 를 기한 최신의 速度센서레소인버터와 IM을 탑재하 고 있다. 그림 13에 外觀, 표 4에 定格을 표시한다.

다음에 사시디어나모에서의 改造電氣自動車의 시험결과를 표시한다. 静止상태로부터 傳送미션 을 4速固定한 채로 액셀全開로 최고속도까지 가속



<그림 12> 토크특성 比較

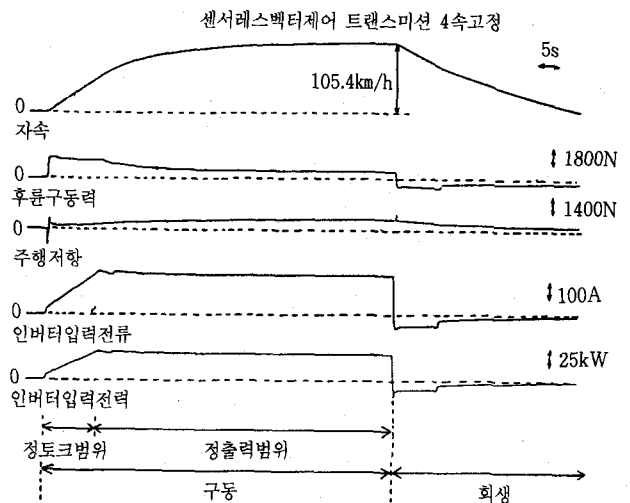
하였을 때의 차트가 그림 14 이다. 静止상태로부터 105km/h까지 매끄럽게 加速되고 있음을 알 수 있 다. 또 액셀오프상태에서는 가솔린自動車의 엔진브레이크핑링을 내기 위하여 回生制動을 하고 있는



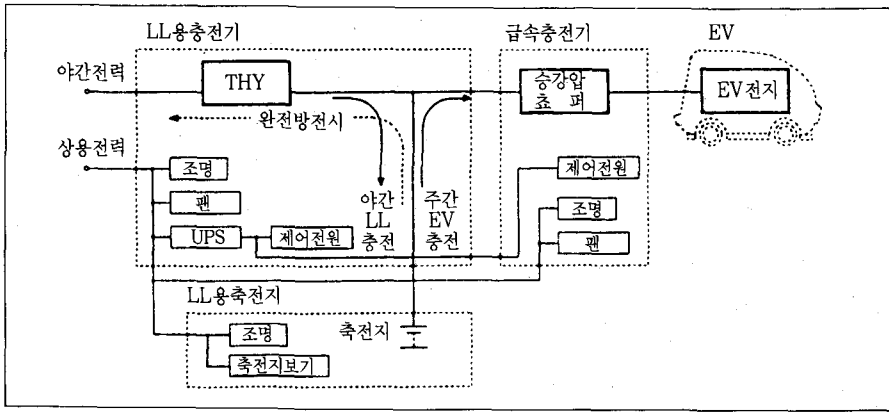
<그림 13> 改造電氣自動車의 外觀

<표 4> 改造EV車의 定格

最高速度	110km/h(理論值)
車兩質量	1900kg
原動機의 種類	誘導모터(IM)
原動機의 定格	最大出力 : 41.5kW 最高回轉速度 : 6000min ⁻¹
制御方式	速度센서레소백터制御
電池의 定格	150Ah · 5hr · 12V × 16(192V)



<그림 14> 改造電氣自動車 加速試驗



<그림 15> 시스템 구성도

데, 좋은 制動力(回生토크)을 얻고 있다.

현재 이 차는 자동차검사를 필하고 一般路上走行에서의 성능평가를 하고 있다.

9. 인프라關聯

電氣自動車の 一充電走行距離가 짧다는 결점을 보완하는 수단으로서 走行에서 소비한 電池의 放電量을 현재의 가스스탠드와 같이 충전할 수 있는 서비스시스템의 구축은 불가결한 것이다.

1992년도부터 심야전력을 저장한 鉛電池式急速充電스탠드의 개발과 플리트테스트에 의한 평가가 실시되고 있다. 장래의 에코스테이션計劃 등에 의한 急速充電스탠드의 보급을 고려하면 에너지효율, 설치장소의 이용효율(면적·체적) 및 경제성이 중요하게 된다. 심야전력저장타입의 구성요소중 LL용蓄電池(LL:로드레벨링)가 이들의 특성에 주는 영향은 크다.

同社에서는 通産省工業技術院의 문라이트計劃「新形電池電力貯蔵시스템開發」에서 검토된 電池 가운데 장래 유망시되고 있는 新形電池인 亞鉛-臭素電池를 LL용蓄전지로 하는 심야전력이용타입의 急速充電스탠드를 주간전력이용타입의 急速充電스탠드에 이어 개발하고 있다.

시스템構成은 그림 15에 표시한다. LL용蓄전지를 亞鉛-臭素電池로 하여 LL用充電器, 急速充電器는 종래시스템(鉛電池式)과 동등한 機能을 갖는

다. 從來시스템과 크게 다른 점은 LL용蓄전지를 약 2割 小形化할 수 있으나 電池의 성능유지를 위하여 一定使用回數마다 完全放電(放電深度 100%)을 하는 機能이 필요하다는 점이다.

이 방법으로 방전시키는 電力을 逆潮流시켜 系統에 되돌리는 방식과 逆潮流시키지 않고 負荷로 소비시키는 방식이 있다. 이 電力逆潮流方式은 電氣事業法 관계로 적용장소에 제한을 받지만 分散形發電시스템 등의 보급을 목적으로 한 계통연계가이드라인의 공포도 있고 하여 급후 適用場所의 확대가 기대되고 있다.

10. 맺음말

이상, 同社가 힘써온 電氣自動車關聯電氣品の 技術動向에 대하여 기술하였다. 환경대책으로서도 빠른 시일내에 電氣自動車の 완성도를 높여 널리 보급시킬 필요가 있다. 그러기 위해서는 電池의 혁신적인 高性能化가 불가결하며 조기개발에 기대를 걸고 싶다.

또 순수한 電氣自動車時代를 맞이하기까지의 過渡期的인 自動車로서 HEV가 주목을 받고 있다. 이들도 포함하여 앞으로도 관계제위의 의견과 지도를 받아 미니카에서부터 大形車까지 매력있는 電氣自動車 만들기에 보탬이 되도록 정진하고자 하는 바이다.

明電舎發行 明電時報 轉載