

技 術 解 說

電氣自動車の 現況 및 將來

朴 鍾 根*

目 次

- | | |
|---------------|--------------|
| 1. 머릿말 | 4. 電動機와 制御裝置 |
| 2. 電氣自動車の 性能 | 5. 結 論 |
| 3. 電氣自動車用新型電池 | |

1. 머릿말

電氣自動車는 起源의으로 蒸氣自動車와 나란히 歷史가 깊고, 交通手段 機動化의 端緒를 새겼다. 蓄電池가 出現하기 以前인 19世紀前半에 벌써 아이디어가 나와서 研究가 시작됐다. 1873년에는 英國의 로버트·다윗드슨에 의해서 實用車가 試作되었다. 19世紀末의 內燃機關은 技術의으로 未熟해서 當時의 自動車交通의 速度記錄은 全部 電氣自動車が 獨占하는 狀態였다. 그러나 電氣自動車는 積載하는 電池의 性能에 限界가 있어서 점차로 汽油車에게 그 바톤을 넘겨 주게 되었다.

모우터리제이션의 急速한 發展은 大都市를 中心으로 하는 自動車의 過密化를 가져오게 되고, 排氣가스·騒音等の 自動車公害를 發生시켜서 큰 社會問題로 되어 왔다. 또한 汽油車에 있어서 必要不可缺한 石油資源에 대해서는 資源의 枯竭化와 그 安全供給에 對한 不安感이 특히 石油波動을 통해서 認識되게 되었다. 이러한 면에서도 石油에 依存하지 않는 自動車 出現에의 期待가 높아가고 있다.

또 한편으로 電氣自動車는 本質的으로 排氣가스가 없고, 騒音도 현저하게 적어서 自動車公害防止上 理想的인 自動車이다. 또한 2차에너지로서의 電力을 使用하기 때문에 1차에너지資源의 多樣化에도 對應할 수 있을 뿐만 아니라 夜間電力을 有効하게 利用하면 走行費(燃料費)는 汽油車보다 싸게 되고, 運轉操作이 簡單한 위에 運轉制御의 自動化가 容易하기 때문에 새로

운 交通機關으로서의 主要素로서 기여할 수 있을 것으로 期待되고 있다. 특히 排氣가스, 騒音等の 公害가 큰 社會問題로 되어 있는 大都市와 自然環境을 保全할 必要가 있는 地域에 있어서는 電氣自動車利用은 有效한 手段이고 電氣自動車の 特徵을 살린 需要分野를 넓혀갈 必要性은 크다.

2. 電氣自動車の 性能

表 1은 電氣自動車 性能의 一例를 보인 表이다. (日本의 例)

表 1에서 알 수 있듯이 電氣自動車는 內燃機關自動車와 比較하여 走行性能이 떨어진데 특히 1充電走行距離가 짧은 點이 問題이다. 現在의 性能으로서도 市街地에 있어서의 物品集配, 連絡業務等に 使用하는데는 거의 支障없지만 더욱 쓰기 편하게 하여 用途를 擴大하기 위하여서는 性能面의 向上이 必要하다. 性能面의 向上에는 電動機·制御裝置의 效率·特性의 改善 또는 車體輕量化等 여러 面의 方策이 있지만 그중에서도 電池의 小型輕量化가 가장 重要한 課題이다. 內燃機關自動車의 경우, 예를 들자면 汽油車는 燃料 10倍 重量의 空氣를 燃燒해 가면서 走行하는 것에 對해서 蓄電池를 使用한 現在의 電氣自動車에서는 走行에 必要한 에너지는 全部 車載電池에서 供給하지 않으면 안되어서 重量面에 큰 handicap을 가지고 있다. 그리고 電氣自動車の 경우 內燃機關의 出力特性에 相當하는 電動機의 出力特性은 電動機單體로서의 特性이 아니고 制御裝置 및 電池의 特性까지 포함한 總合特性의

* 正會員 : 日本 東京大 工學部 電氣工學科 博士課程

表 1. Vehicle performance example (Japan)

車種	輕量乘用H	輕量乘用P	小型乘用H	小型乘用P	輕量電氣트럭	小型電氣트럭H	小型電氣트럭P	路線叫士
全全全車乘積	3,165 1,420 1,430 1,467 4	3,165 1,420 1,430 1,427 4	3,410 1,500 1,480 1,467 4	3,410 1,500 1,480 1,480 4	3,410 1,355 1,605 1,538 2 300	4,690 1,695 1,860 3,595 2 1,000	4,650 1,695 1,860 3,620 2 1,000	9,380 2,490 3,060 14,045 70 —
最高速度 km/h	96 (80)	101 (80)	83 (80)	85 (80)	78 (70)	90 (70)	87 (70)	61.2
加速性能 (0→40km/h)s	5.5 (7)	6.0 (7)	3.6 (6)	3.6 (6)	8.1 (9)	4.9 (9)	6.9 (9)	6.9
登板性能 (7%경사 km/h)	40以上	40以上	40以上	40以上	40以上	40以上	40以上	(0→30km/h)
一充電走行距離 (40km/h定常走行) km	260 (180)	239 (180)	455 (250)	243 (180)	205 (160)	496 (230)	302 (200)	29.5 186.6
" (4모드 페달走行) km	140以上	200以上	250以上	170以上	100以上	250以上	110以上	71.1
電力消費率 (40km/h定常走行) km/KWh	9.5	8	9	9	10	8	5.5	0.61(4모드 페달)
車外音 (40km/h) 호	61	69	61	60	63	59	63	—
車內音 (40km/h) 호	65	65	68	62	69	63	63	—
種類	鐵-空氣	鐵-內燃	亞鉛空氣	高性能鉛	메트構造亞鉛	亞鉛空氣	메트構造亞鉛	改良型鉛
規格電壓 V	96	104	166	144	120	165	120	384
容量 Ah/5HR	260	290	200	20	180	400	400	320
電容密度 Wh/kg	81.0	82.5	131.5	35.5	51.5	116.5	51.5	42.5
에너지 밀도 (5IIR 60%放電)	(70以上)	(60以上)	(80以上)	(30以上)	(50以上)	(80以上)	(50以上)	(40以上)
壽命 (5IIR 60%放電)	200 (300)	512 (1000)	136 (200~300)	271 (200~300)	701 (500以上)	232 (200~300)	550 (500以上)	1,137 (800以上)
組電池重量 kg	540	510	530	540	445	1,050	960	2,950
電動機型式	다이리스터	直流通勤	直流通勤	直流通勤	永久磁石型	直流通勤	直流通勤	直流通勤
出力 KW	12.0	12.9	20.9	20.9	14.4	27.6	27	72
出力 V	125	83	136.5	136.5	102	110	110	360
出力 KW	35.8	31	38.5	38.5	29.4	66.6	52	128.5
最大トルク kg·m	6.7	9.2	15.2	15.2	5.07	33.0	33	73
總合効率 (40km/h定常走行)%	73.2	84.1	83.6	84.2	80.3	78.5	74.4	740
MC全重量 kg	118.9	124.3	116.2	110.3	97.1	234.5	271.7	다이리스터
制御方式	트랜지스터	트랜지스터	다이리스터	다이리스터	電壓切換 다이리스터	다이리스터	다이리스터	다이리스터

備考: ()內는 目標値를 나타냄

로 생각하지 않으면 안된다. 즉 이러한 電氣製品들은 各各의 特性이 뛰어난 同時에 全體로서도 바란스가 잡힌 特性이어야 한다.

本欄에서는 電氣自動車の 重要한 研究部分인 電池와 電動機 및 그 制御裝置에 대해서 簡單히 紹介한다.

3. 電氣自動車用新型電池

將來 有望視되는 電池로서는 그림 1과 같은 것이 있으나 이 중에서 몇가지는 稀少金屬·貴金屬을 使用하지 않으면 안되기 때문에 對象外가 된다.

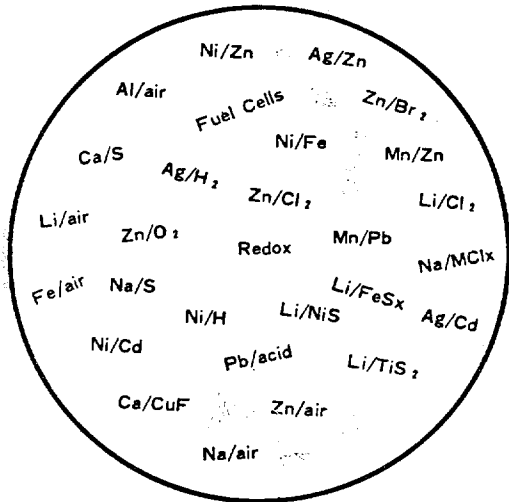


그림 1. The battery candidates

여기에서는 다음과 같은 6種의 電池에 관해서 紹介한다.

- 改良납 電池
- 니켈-鐵電池
- 니켈-亞鉛電池
- 亞鉛-鹽素電池
- 리튬-金屬硫化物電池
- 나트륨-硫黃電池(세라믹 電解質)

납電池

납電池의 研究는 두가지 方向에서 行해지고 있다. 改良납電池(ISOA¹⁾ 電池와 高性能電池가 있다. ISOA납電池의 경우 今年末까지는 40~45Wh/kg, 500~800 사이클의 電池가 出現할 것으로 보인다. 그러나 이 電池는 電氣自動車用으로서 그렇게 適合하지는 않으나 利點으로서는 現狀의 生産設備가 使用可能하다는 點이다. 한편으로 高性能電池는 現

在의 技術線에 있는 ISOA납電池와는 다른 電池로서 研究開發은 한층 더 어렵다. 性能目標로서는 60 Wh/kg, 壽命 1,000사이클을 세우고 있다.

니켈-亞鉛電池(니-아鉛電池)

Ni-Zn電池의 開發은 現在 急激한 스피드로 이루어지고 있어서 이 電池가 初期의 電氣自動車用으로서 주로 使用될 것으로 생각된다. 第1의 問題點은 壽命으로서 특히 亞鉛電極의 멘드라이트(dendrite) 形成에 의한 壽命의 低下가 問題視되고 있다. 現在(以下 1979年 4月の 時點을 나타낸다) 壽命 200~300사이클 에너지 密度 70Wh/kg이다. 1~2年內에 壽命은 300~500사이클로, 에너지 密度는 2000년까지 25% 向上될 것으로 보인다. 材料의 資源의인 問題로서 니켈의 量 및 價格을 考慮해야만 하는데, 100萬臺의 乘用車(25 KWh사이클)의 니켈必要量은 1975年の 세계 니켈 生産量의 約 10%로 足하고 또 니켈은 가솔린과 달라서 리사이클링(recycling)가 可能하다.

니켈-鐵電池(Ni-Fe 電池)

이 電池의 問題點은 充電하는데 있다. 즉 水素의 分解電壓과 Fe(OH)₂으로부터 鐵에의 還元電壓이 同一하기 때문에 水素가스가 發生한다는 點이다. 이것은 能率低下를 招來할 뿐만 아니라 安全性等의 問題에도 關連된다. 다른 問題點으로는 이니셜코스트가 비싼 點과 低溫度에서의 能率低下가 있다. 또한 資源面으로는 니켈의 必要量이 Ni-Zn電池보다 20~25%程度 많기 때문에 이것도 問題가 된다. 結論의으로 이 電池는 初期의 電氣버스와 電氣트럭용 電池로서 先導的 役割을 할 것 같으나 電氣自動車用으로 最適하다고는 할 수 없다.

리튬-硫化鐵電池

이 電池는 近來數年間に 크게 進歩했지만 實用的으로 되기까지는 많은 問題를 解決하지 않으면 안된다. 問題點의 하나는 壽命으로 에너지 密度 50~70Wh/kg에서 1年以上, 100Wh/kg에서 200사이클의 壽命밖에 없다. 이 問題의 改良策은 있으나 코스트의 問題가 남아 있어서 이 問題가 解決된 다음에야 비로소 實用的인 것으로 될 것이다. 資源의인 問題로서 現在 生産되는 全리튬量으로서는 30萬臺의 車輛(25KWh사이클)에 必要한 量以上을 處理할 수 없다. 그러나 리튬埋藏量은 充分히 需要를 充足시킬 수 있다. 이와 같이 Li-Al/FeSx 電池는 많은 問題點이 있기는 하나 電氣自動車用으로서 대단히 適合하다. 1990년까지는 體積當 에너지 密度 200Wh/l로서 에너지 密度는 Ni-Zn電池보다 20~40% 높게 될 것으로 豫測된다. 또한 安全性에

註 1) : Improved State-of-Art

있어서도 有利한 것이 衝突테스트 등에서 立證되고 있다. 이와 같이 Li-Al/FeSx₂ 배터리는 次世代的 電氣自動車용 배터리로 될 것은 明確하나 壽命과 코스트의 障壁은 아직 두텁다.

亞鉛-鹽素배터리

이 배터리의 特徵은 鹽素를 冷却하여 鹽素水化物로 貯藏하기 위한 冷却裝置와 電解液을 循環시키는 裝置를 裝備하고 있다는 點이다. 現在 에너지密度가 75~80Wh/kg이나 가까운 將來에는 冷却裝置를 除外하고 80~130Wh/kg으로 높일 것을 目標로 하고 있다. 이 배터리는 冷却과 循環 때문에 에너지로스가 充電效率이 거의 100%에 가까운데도 불구하고 에너지效率面에 問題가 있다. 그리고 各種의 付屬裝置를 必要로 하기 때문에 小型化하기가 困難하다. 따라서 電氣自動車用으로는 乘用車用으로 使用하는 것은 거의 不可能하고 使用한다면 버스나 트럭用이 될 것이다.

나트륨-硫黃배터리

이 배터리의 問題點중의 하나는 作動溫度가 300~375°C라는 點이다. 또 壽命·構造上의 問題도 있고 해서, 電氣自動車용 배터리로써의 에너지密度 目標(110~130Wh/kg)를 達成하기는 어렵다. 오히려 電力貯藏用으로서 보다 더 適合하다.

위에 든 배터리 외에 2000년까지 實用化에 成功할 것 같은 배터리는 아주 적다. 그러나 배터리開發은 豫想外로 빠르게 進行되고 있어서 많은 技術的進歩가 있을 것으로 생각된다.

新型배터리의 開發리스크와 性能充足度와의 關係

Bayesian 解析法을 써서 各種 배터리에 대해서 評價한다. 이것은 開發上의 各種의 技術的인 리스크와 그 開發이 成功했을 때의 利益과의 相互關係에 근거하여 各各의 배터리를 評價하는 方法이다.

우선 早期開發이 有望視되고 있는 7種의 배터리에 관해서 各 배터리開發에 있어서의 技術的인 障壁의 數, 리스크, 困難度를 比較하면 表 2와 같이 된다.

表 2. Development risks

BATTERY SYSTEM	NUMBER OF TECHNICAL BARRIERS	AVERAGE DIFFICULTY OF BARRIERS
Ni/Fe	1	MEDIUM
Pb/Acid	2	MEDIUM
Ni/Zn	2	DIFFICULT
Zn/Cl ₂	5	DIFFICULT
Li-Al/FeSx	7	DIFFICULT
Na/S(CERAMIC)	8	DIFFICULT
Na/S(GLASS)	10	DIFFICULT

이것은 各 배터리開發에 있어서의 主된 障壁의 數와 그 障壁을 넘어서실 確率을 考慮하여 開發의 相對的 困難度를 位置지은 것이다. 表 2로는 表 3에 보인 項目에 관해서 開發된 배터리가 電氣自動車用으로 最適한 지 어떤지를 推測한다. 다음으로 開發의 困難度·리스크와 開發된 배터리의 性能充足度와의 關係를 나타내던 그림 2와 같다.

表 3. Battery desirability factors

- ELECTRICAL PERFORMANCE
 - SPECIFIC ENERGY
 - VOLUMETRIC ENERGY DENSITY
 - PEAK POWER AT 80% DISCHARGE
 - SUSTAINED POWER CAPABILITY
- LIFETIME
- COST
- SAFETY
- RESOURCE AVAILABILITY

이것은 배터리開發의 困難度와, 各 배터리를 쓴 電氣自動車가 都市內用 電氣自動車로서 性能面에서 어느 程度 滿足할 만 한가를 나타내는 性能充足度와의 關係를 나타낸 것이다. 두 直線間에 있다는 것은 開發리스크가 開發後 얻어지는 充足度에서 보면 그렇게 크지 않다는 것을 表示한다. 또 확실方向은 現在 開發이 이루어지고 있는 方向을 나타낸다.

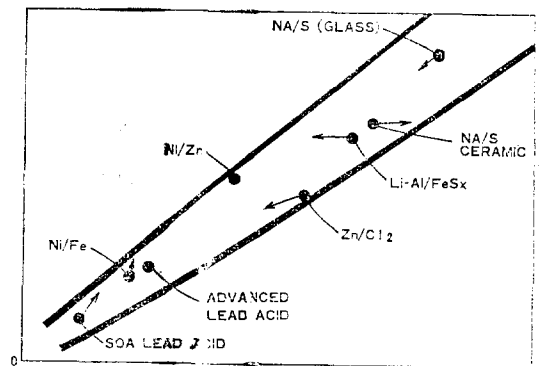


그림 2. Risk/reward relationship for advanced batteries

위와 같은 評價를 整理하여 總合적으로 結論지으면 다음과 같다.

- 現段階에서는 이것이 "勝利者다"라고 할 만한 바

메리는 아직 없다.

○ 各 배터리가 實用化·商品化될 確率は 各各 50% 보다 작다.

○ 그러나 이러한 배터리중의 적어도 한 種類가 開發成功될 確率は 75%以上 된다.

또한 1985년까지는 상당히 改良된 電氣自動車が 出現할 것은 確實視된다. 그리고 2000년까지는 數百萬臺의 電氣自動車市場이 만들어 질 것이라고 생각되는 데 이 市場의 規模는 개발된 배터리의 性能과 에너지 事情에 의해서 좌우 될 것이다.

4. 電動機와 制御裝置

電氣自動車에 쓰여지는 電動機의 型式 및 사이즈는 期待되는 모우터의 運轉條件에 의해서 選擇된다. 運轉條件은 그림 3에 나타낸 세가지의 要素에 의해서 定義된다. 여기에서는 다음과 같은 運轉條件을 假定한다.

- 그림 4와 같은 走行사이클
- 2,700lb의 4人乘車(積載量 300lb)

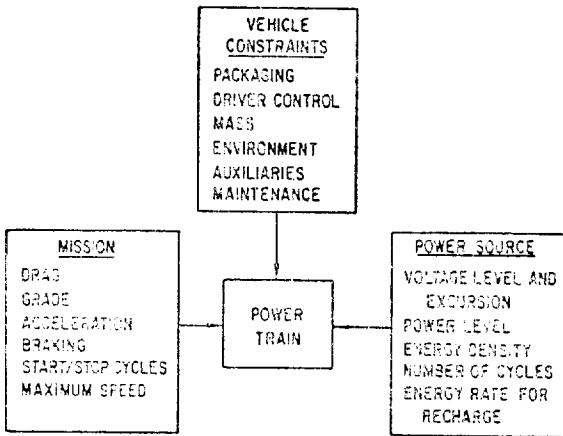


그림 3. Power train interfaces

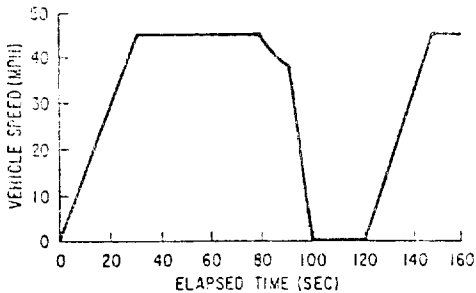


그림 4. Driving cycle

또한 다음과 같은 電氣自動車用모우터 設計의 基準을

포함한 것으로 한다.

- 낮은 이니셜-코스트
- 最大 1充電走行距離
- 最少모우터重量과 스페이스
- 高信賴性과 메인テナンス

코스트와 走行距離에 관한 電氣自動車の 特性을 그림 5와 같다.

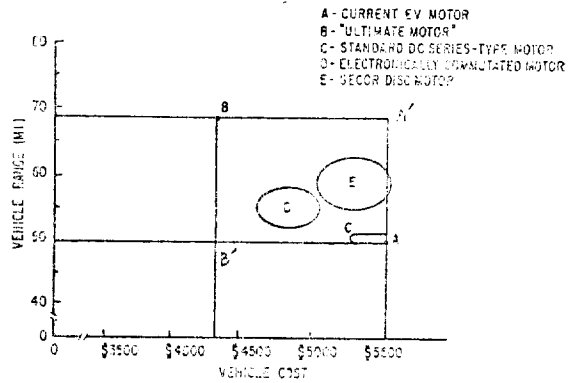


그림 5. Electrical vehicle characteristics as affected by electric motors assuming production levels greater than 100,000units/yr and constant power conditioner costs(dc chopper)

點 A는 現在の 모우터에 相當하는 點이고 點 B는 理想모우터(100%效率, 零重量·零모우터코스트)에 相當하는 點이다. 理想의 모우터가 實現된다고 假定해도 內燃機關의 自動車性能보다는 떨어진다. 이것은 電動機의 改良만으로는 商業적으로 魅力있는 電氣自動車を 生産하는 것은 不可能하다는 것을 보인다. 그림 5에서 AA' BB'內의 點만이 興味있는 部分이다. 그외의 部力은 到達不可能하거나 아니면 現在の 電動機를 써서도 到着 가능한 點들이다.

그림 6에 電氣自動車用 電動機로서 使用할 수 있는 電動機를 나타낸다.

低速토크의 큰 特長이 옛부터 많이 쓰여져온 것은 直流直卷電動機이나 이 電動機는 다음과 같은 本質의 인 缺點이 있다.

- 半導體分流回路에 의해 생기는 勵磁의 弱화
- 勵磁回路 또는 電機子回路의 切換때문에 再生制動을 위한 코스트가 비싸다. 우선은 說明의 順序로 改良된 D.C 直卷電動機에 관해서 說明한다. 最近의 電力用半導體 및 磁性材料의 發選로 위에서 말한 缺點을 克服할 수 있을 것으로 생각되는 2種의 電動機가 話題

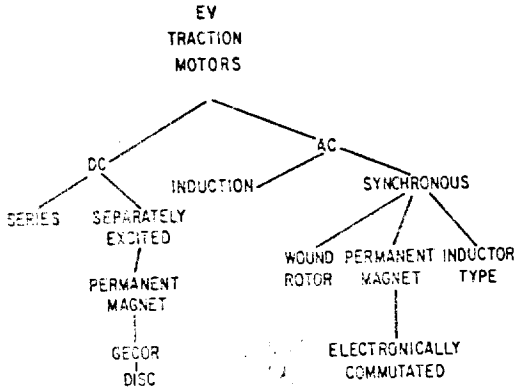


그림 6. Motor types applicable to electric vehicles

로 되고 있다. 즉 比較的 가까운 將來에 電氣自動車用으로 使用되리라 생각되는 다이리스터 電動機(Electronically Commutated Motor)와 좀더 다음에 使用되리라 생각되는 永久磁石電動機가 그것이다.

改良된 從來의 D.C. 電動機

從來의 電氣自動車用 電動機損失은 다음과 같이 大別된다.

- 電機子 銅損—40%
- 界磁 銅損—15%
- 危線 鐵損—25%
- 機械的 損失—20%

電機子의 銅損을 減少시킴으로서 自動車性能이 어떻게 影響을 받는지를 시뮬레이션한 結果를 나타낸 것이 表 4 이다.

重量의 增加없이 銅損을 30% 줄이는 것이 可能하다고 한다면 走行距離는 7% 늘어난다. 그러나 30%의 銅損 輕減은 50% 以上の 重量增加를 同伴하기 때문에 實質的으로는 2.5%의 足行距離延長에 지나지 않는다. 第 4 表에서 走行距離란의 括弧속의 數値가 重量增加를 考慮했을 때의 시뮬레이션 結果를 나타냈다. 銅損을 40% 以上 輕減시키면 走行距離는 오히려 縮아진다.

表 4. Vehicle performance as function of armature circuit resistance

PER UNIT RESISTANCE	PAYLOAD (lb)	BATTERY WEIGHT (lb)	CURB WEIGHT (lb)	CONSTANT 45 MPH EFFICIENCY	RANGE IN MILES
1.0	300	1314	2942	0.860	50.03
0.9	300	1314	2942(2974)	0.866	51.26(50.34)
0.8	300	1314	2942(3016)	0.872	52.35(51.23)
0.7	300	1314	2942(3071)	0.878	53.52(51.27)
1.2	300	1314	2942(2895)	0.849	47.28(48.27)

電機子의 銅損輕減以外的 改良對策을 同時에 適用해도 走行距離는 3.5~4%밖에 길어지지 않는다.

ECM(Electronically Commutated Motor)

D.C 電動機의 缺點中의 하나는 부라쉬와 整流子가 있다는 것이다. 그림 7, 8에 보인 것과 같이 半導體 콘버터, 同期電動機 및 몇개의 휘드뱅크로서 整流子가 없는 A.C드라이브를 構成할 수 있다.

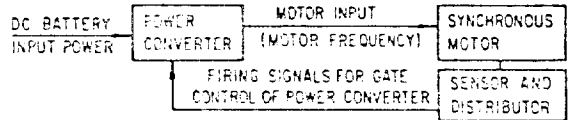


그림 7. Electronically commutated motor(ECM)

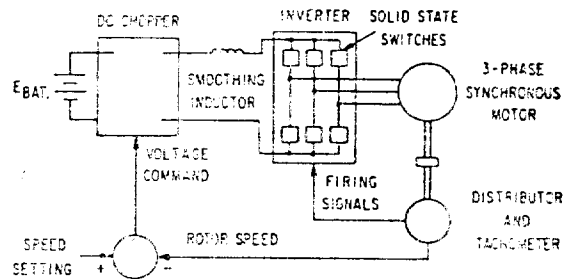


그림 8. Electric vehicle ECM drive system

이런 意味에서 ECM은 CLM(Commutator Less Motor)라고도 불리운다. 그림에서 센서는 모우터의 電機 電子流와 勵磁電流의 位相을 90°에 維持하기 위하여 필요하다. 電氣自動車用 ECM가 從來의 D.C모우터보다 有利한 點은 다음과 같다.

- 重量의 輕減(約 1/2)
- 約 5%의 效率의 向上
- 電機子가 固定子側에 있기 때문에 過負荷容量이 向上된다.
- 高信賴性과 低메인テナンス코스트

○ A.C.모우터 生産技術을 쓰면 生産코스트가 싸게 된다.

上記利點中の 最初 두가지 利點으로 走行距離가 7.7 마일 즉 15% 길어 진다. 또한 그림 8에서 ECM의 쇼퍼·인버터機能을 하나의 PWM인버터에 가지게 함으로써 生産코스트는 20%程度 내리잔다.

新型永久磁石電動機

電動機勵磁에 永久磁石을 쓰면 勵磁損 스틸링 또는 整流子가 完全히 없어지고 構造도 大福으로 簡單化된다.

磁石도 最近 磁性材料의 發展으로 상당히 좋은 特性의 磁石을 얻을 수 있다. 예를 들면 코발트, 사마리움 및 他要素의 合金으로 된 GECOR이라는 新型磁石이 있다. 電氣自動車が 1馬力의 出力을 내는데 必要한 GECOR의 量은 約 0.5파운드이다. 그림 9가 GECOR을 쓴 D.C. DISC 모우터와 從來의 모우터를 比較한 그림이다.

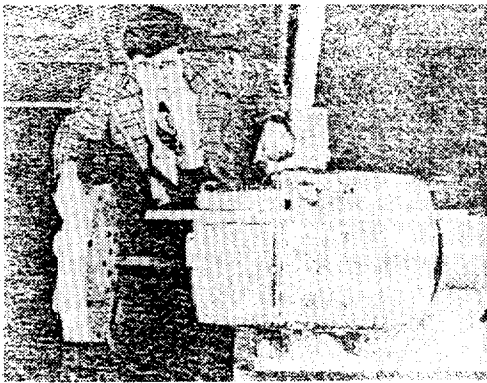


그림 9. 50hp disc motor (left) and conventional 50hp motor (right)

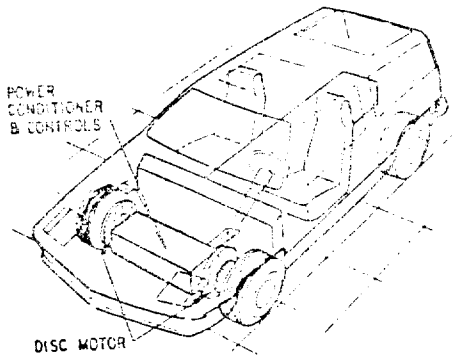


그림 10. Sketch of proposed electric vehicle motorized wheel configuration

크기가 約 1/4로 준 것을 알 수 있다. 이 DISC 모우터를 使用한 電氣自動車는 그림 10와 같이 될 것으로 推測되는데 從來의 自動車에 必要한 動力傳達軸, 디페렌셜, 뒤축의 軸等이 必要없이 된다. 電氣自動車用으로 D.C DISC 모우터를 쓰면 다음과 같은 利點이 있다.

- 輕量·高効率·低損失에 의한 性能改善
- DIRECT DRIVE—無 GEAR
- COMPACT
- 表面冷却에 의한 小型密閉化

그러나 新型永久磁石의 코스트問題가 解決되지 않으면 不된다.

以上을 綜合하면,

- 1) 假說의 理想모우터라도 電氣自動車의 性能이 가솔린車보다 좋을 수는 없다.
- 2) 그러나 各種의 모우터改善으로 約 20%의 走行距離延長 및 約 15%의 코스트輕減이 可能하다.

5. 結 論

現在 電氣自動車에 關하여는 그 社會的 意義(公害對策)는 認定되어지고 있으나, 現實의 生産車는 車輛價格·壽命等의 條件에 크게 制約이 있다. 또한 市街地 走行用으로서는 使用할 수 있다고는 하나, 電池性能에서 起因되는 一充電走行距離가 큰 問題이다. 그 외에도 充電시스템, 서비스시스템 等の 利用面에서의 問題도 解決되지 않으면 오랜동안 改善發展되어 온 가솔린車의 便利한 점들을 증가할 수는 없을 것이다.

參 考 文 獻

- (1) 電氣自動車の研究開發 1977, 工業技術院
- (2) "Advanced Batteries For Electric Vehicles-A Look At The Future" William J. Walsh 1979, 4.23, The America Physical Society Meeting Washington, DC
- (3) Energy Storage Systems For Automobile Propulsior Lawrence, Livermore Lab. Vol. I & II 1977
- (4) "A Bayesian Approach to Forecasting Technical Success University of Chicago Conference on The Economics of Research and Development Policy Apr 1979
- (5) "Advanced Motor Development for Electric Vehicles" Edward P. Correll et al. Vol. VT-26 No. 2, May 1979, IE3
- (6) "Advanced Electric Control Systems for Electric

- Vehicles" F.T. Thompson Vol. VT-27 No 3
Aug. 1978 IE3
- [7] "The Disc Armature D.C Motor and its Applications" Conference of Small Electric Machines, London, March 31, 1976
- [8] Comparison of Electrical Drives for Road Vehicles" O. Bader and W. Stephan Vol. VT-26, No 2 May 1977, IE3
- [9] 電動車輛 第5號 1980年 6月 日本 電動車輛協會
- [10] "電氣自動車の性能及び電氣品" 齊藤豊太郎 自動車研究 第2巻 第5號 1980.5