

回轉電氣機械의 進步와 應用的 動向

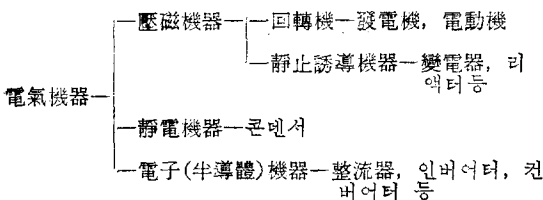
金 漢 星

圖 1. 차 리

1. 回轉機의 特徵의 機能과 特性
 - 1.1 回轉機特性의 多樣性
 - 1.2 回轉電氣機械의 過負荷耐量
 - 1.3 過電壓耐量
2. 回轉機의 應用例와 動向
 - 2.1 電氣化學工業用電源
 - 2.2 Thyristor Kraemer System
 - 2.3 小形回轉機의 應用과 動向
 - 2.4 電動機制御의 應用例와 動向
 - 2.4.1 直流電動機
 - 2.4.2 交流 "
3. 回轉機 利用의 展望
 - 3.1 Energy 變換機能의 應用擴大
 - 3.2 回轉機多樣性의 擴大
 - 3.3 電動機制御의 展望
4. 結 論

現在 널리 實用化되고 있는 電氣機械中에서 回轉機는 가장 歷史가 깊은 것의 하나이다. 現在 電氣機械라고 稱하는 것을 大別하면 電磁機器 靜電機器 電子(半導體) 機器로 分類된다.

圖 1. 電氣機器의 分類와 代表의 例

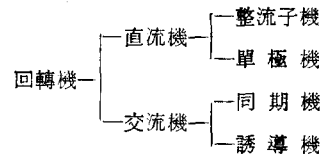


1. 回轉機의 特徵의 機能과 特性

1.1 回轉機特性의 多樣性

回轉機라고 하더라도 여러가지 特性을 가진 많은 型이 있다. 圖 2는 그 分類를 表示한 것이다. 圖 2

圖 2. 回轉機의 分類



의 각 回轉機는 그 特有의 特性을 갖고 있을뿐만 아니라 發電機로 하든가 電動機로 하더라도 運轉할 수 있는 多樣性때문에 使用되는 分野는 大端히 많고 MG set를 예들들면 電動機, 發電機의 여러가지 組合에 의해서 實現되는 電源形態의 多樣性을 表示한 것이 圖 3이다.

圖 3. MG set의 組合

	入力 電源	電動機 (M)	發電機 (G)	出力 電源	實 例
1	直流	直流機	交流機	交流(可變周波) 電源	交流電動機可變速用 電源
2	交流	交流機	直流機	直 流	直流電動機用電源 電解用電源
3	交流	交流機	交流機	交 流	周波數變換機

最近 電子(半導體) 機器로 急速히 發展하여온 thyristor를 使用한 整流裝置 인버터를 組合하여 可能한 여러가지 種類의 電源과 昇降壓 할 수 있는 變壓器와 같은 性能을 回轉機 MG set로 實現시킬 수 있다. 또한 同期調相機는 Reactor나 condenser와 같은 核能으로 使用되는 경우도 있다. 이와 같이 回轉機는 回轉機特有의 機能以外에 他的 電氣機械의 役割을 發揮할 수 있는 多樣性이 있는 機械이다. 그러나 MG set의 例에서 알 수 있는 바와 같이 回轉機에 의해서 다른 電源을 만드는 경우 반드시 機械的 Energy의 變換을 介在하여 行 하여지므로 損失을 수반한다. 電子機器, 變壓器의 경우는 直接 電氣 Energy의 變換을 할 수 있는 것과 比較하면 效率이 低下된다.

*正會員: 建國大 工大 電氣工學科 教授

1.2 回轉電氣機械의 過負荷耐量

過負荷의 問題點의 하나는 機器의 溫度上昇을 招來하고 壽命을 短縮하든가 바로 機器를 破壞하여 重大한 損傷을 發生하는 原因이 된다.

回轉電氣機械의 壽命을 크게 支配하는것 中の 하나는 絕緣物의 劣化이다. 그리고 이것에 크게 影響주는 것이 溫度이고 다음 3가지가 있다. a) 普通의 熱劣化 b) 反復熱劣化 c) 短時間熱破壞 回轉機에서는 定格負荷以下에서 그 溫度上昇은 規格에 定해진 溫度上昇以內이고 溫度上昇에 餘裕가 있는 것은 그만큼 過負荷로 되드레도 支障이 없는 것은 a)에 해당하는 것으로 實用上 問題가 없다.

한편 一時的인 過負荷, 周圍溫度의 上昇, 또는 冷却機能의 低下等때문에 規格에 定해진 溫度上昇限度를 넘어서 그위에 反復되는 경우는 絶緣을 構成하는 材料中 가장 弱한 것부터 順次 劣化되어 壽命을 심하게 短縮한다. 이것은 b)에 해당된다. 系統의 故障이나 大端히 큰 過負荷에 의한 短時間동안 異常加熱이 있는 경우 絶緣物을 燒損한다, 이 경우가 c)이다. 回轉機는 電磁機器이므로 그 構成材料는 銅線및 珪素鋼板이 주이고 重量 體積이 크다. 따라서 熱容量도 크고 短時間의 過負荷에 대하여는 強하다고 볼 수 있다. 이點 thyristor 등의 電子機器는 小形輕量이지만 過負荷에 대하여 약하고 過負荷使用이 곤란하므로 故障防止에 대한 多重의 保護對策이 必要로 한다.

1.3 過電壓耐量

過電壓에 의한 문제는 直接的으로 絶緣破壞를 일으키고 特性의 低下를 수반하는 過電流에 의한 熱劣化가 된다. 過電壓에도 여러가지 狀態가 있다. 가령 機器에 加해지는 定常的인 直流나 交流電壓의 크기가 定格值을 超過하는 경우 또는 回路 mode變更(가령 整流素子의 轉流), 또는 回路遮斷, 其他 非定常時의 過渡現象에 起因하는 surge電壓 등이 있다. 一般的으로 回轉機의 絶緣은 定格電壓에 대하여 餘裕를 갖고있지만 半導體素子에서는 定格值를 넘는 電壓에 대하여 약하다.

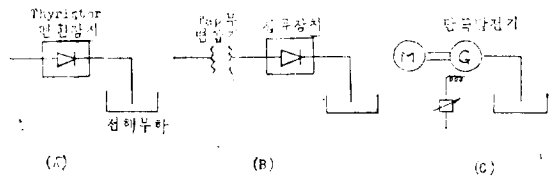


그림 1. 電解工業에 있어서의 電源形態

2. 回轉機의 應用例와 動向

2.1 電氣化學工業用電源

電氣分解나 도금工業等 電氣化學의 分野에 있어서 主로 直流의 大電流低電壓電源이 必要하다. 用途에 대한 電源形式으로서는 그림 1에 表示한 三方式의 電源이 必要하다. 그림 1의 (a)는 thyristor整流裝置에 의한方法 (b)는 Tap付變壓器와 diod 整流裝置에 의한方法 그리고 (c)는 單極發電機에 의한 MG方式이다 표 4는 각각의 特色을 比較한 것이다.

제 4표에서 알수있는 바와같이 單極發電機에 의한 경우 전혀脈動이 없는 直流電壓이 얻어지고 그 電壓調整도 廢範圍하고 連續的으로 制御할 수 있는 點이 他的方式보다 優秀하다. 이分野에서는 現在까지 單極發電機에 의한 電源의 採用은 많다고는 할 수 없으나 그 特異한特性和 用途의 要求를 잘 適用시킨 應用例이다.

2.2 Thyristor Kraemer System

電源裝置 또는 公共施設用의 機械(예 上水用 pump)에 있어서는 瞬時停電(短時間의 停電)이 發生하드레도 支障없이 運轉을 繼續可能한 것이 要求된다. 따라서 이와같은 用途에 있어서는 回轉機自身 및 負荷가 갖고 있는 慣性 moment를 附加한 驅動裝置가 從來부터 使用되어 왔으나 그 效果를 應用한例가 thyristor Kraemer system이다. thyristor Kraemer方式의 特徵長點은

표 4. 電解工業에 있어서의 電源 形態의 比較

電 源 形 態	電壓制御方法	制 御 性	特 色
a) 다이리스터 整流裝置	다이리스터 變換裝置의 다이리스터 gate制御	容易하다.	電壓波形은 맥동이 크다.
b) Tap付變壓器와 整流裝置	Tap付變壓器의 Tap切換制御	連續制御 不可能	電壓制御範圍은 比較的 좁다
c) 單極發電機	單極發電機의 磁電流의 制御	連續制御할 수 있다.	電壓은 전혀 맥동이 없다. 制御範圍가 크다.

瞬時停電이 發生하드래도 支障없이 運轉이 可能한 點이다. 그 理由는 Inverter의 轉流는 thyristor motor의 誘起起電力을 利用하여 行하여지기 때문에 電源側에 소란이 發生하드래도 轉流失敗가 되는 일이 없이 運轉할 수 있는 點이다. 즉 瞬時停電을 檢出하면 즉시에 thyristor의 電流를 零으로하고 瞬時停電(약 0.5초)이 回復할 때까지 待期하여 Inverter의 轉流失敗를 防止할 수 있는 것이 可能하다. 둘째의 長點은 誘導電動機와 thyristor motor가 負荷軸에 連結되어 있으므로 軸系全體의 Fly wheel效果가 크게되어 있고 誘導電動機單體運轉에 比較하여 蓄積 Energy가 크기 때문에 瞬時停電으로 一時的으로 電力의 供給이 없어도 速度變動이 적고 특히 pump負荷에 使用하면 速度變動이 적다는 點이다.

回轉電氣機械의 慣性 moment를 살리고 새로운 驅動裝置 또는 Fly wheel를 應用한 各種의 應用이 開發될 것이다.

2.3 小形回轉機의 應用과 動向

小形電動機는 tape recorder등의 音響機器, 映寫機 玩具 電氣洗濯機 電氣掃除機 扇風機 冷蔵庫等の 電化製品 複寫機 事務機器 醫療器, 計測器 自動車 航空機, 計算機를 위시하여 Robot工作機器等 속에 들어가 近代文明을 유지시키고 裏面的役割을 하고 있다. 小形電動機라고 正確한定義는 없으나 그 製造技術, 動作原理, 用途나 用法等이 一般回轉機와는 別途로 한 分野를 形成하고 있다. 小形回轉機는 使用目的 使用場所등으로 (A) 家庭電化製啞, 事務機用 (B) 音響機器用 (C) 計測制御用에 大別할 수 있다. 小形輕量 低廉 信賴性은 小形回轉機에 限하지 않고 모든면에 共通의인 重要한 要素이지만 小形回轉機에는 특히 이것이 強하게 要請되고 技術도 이 方面에 進行하고 있다.

(A)에 속하는 電動機는 各種單相誘導機, 各種交流 整流子機등이고 그 機種도 많지만 保守성과 價格의 點에서 抵抗分相單相誘導電動機나 反發交流整流子機등은 後退하고 condenser motor등이 많이 使用되고 있다. 또 材料面에서 보면 Si 0.1%이하의 低級의 珪素鋼帶를 使用하여 量産化를 容易하게 하면서 同時에 占積率이 在來의 0.9 정도에서 0.97~0.99에 올림과 同時에 磁束密度를 最大로 높게하여 價格低下와 輕量化를 圖謀하고 있다. (B)는 速度가 고르지 못하면 音質에 影響을 준다. 그래서 交流電源의 경우는 高級인 것은 hysteresis motor나 直流驅動的의 경우는 調速機가 附着된 直流機가 使用된다. 最近은 이 調速機가 機械式에서 電子式으로 되는 傾向이 있다. (C)는 servo motor, stepping motor등 주로 servo機構用的 motor

이고 이것들은 motor自體와 制御回路가 一體로 되어 急速한 起動과 停止 超精密一定速度 pulse數에 應한 回轉角등 信號에 忠實하고 正確히 追從하는 motor이다. 이와 같은 電動機는 生産方式의 自動化에 수반해서 進歩된 것이므로 歷史的으로 比較의 새로운 것이라고 할 수 있다. 最近, 性能을 높게 하기위해서 直流 servo motor를 closed loop로 使用할때가 많다. servo motor는 機械時定數 T_M 이 적은 것이 重要하며 最近은 CoFeV (Fe50%, Co50%)의 高級鐵心을 使用하여 T_M 이 1ms 前後인 것이 開發되고 있다.

2.4 電動機制御의 應用例와 動向

制御의 對象으로 되는 電動機는 約20年前까지는 直流電動機뿐이라해도 過言이 아니다. 그러나 半導體를 使用한 各種整流素子の 出現과 그 눈부신 進歩는 電動機制御의 面目을 크게 變하게 하였다. 즉 이것들을 使用한 電力의 變換과 制御의 技術은 各種靜止形電力變換裝置를 提供하였다. 그리고 交流電力을 直流로 變換하는 것 뿐만아니라 可變電壓, 可變周波數電源으로 하여 交流電動機의 可變速運轉을 容易하게 하였다. 또 直流 servo motor, 二相 servo motor 또는 pulse motor等の 制御用小形電動機에도 크게 影響을 미쳤다. 電動機固有의 特性을 變更시키는데는 限界가 있다. 따라서 目的으로하는 좋은 性能을 얻을려면 電力變換裝置를 包含해서 어떠한 制御를 하느냐가 課題로 된다.

2.4.1 直流電動機

直流電動機用電源裝置는 1950年代경까지는 M-G가 全盛時代였고 한때 水銀整流器가 이것과 代替하였지만 1960年代에서는 thyristor Leonard가 出現하고 크게 成長하여 現在까지 이르렀다. 또 電鐵用이나 電氣自動車에는 chopper制御를 採用하고 있는 것도 있다. 一般으로 thyristor Leonard의 制御는 歸還自動制御系로 構成되어 있다. 制御의 安全화와 性能向上때문에 大部分은 電流나 電壓制御의 minor loop가 形成되어 있다. 또 變換裝置의 極數切換時 dead time도 制御裝置에 의해서 數 ms정도로 可能하게 되었다. 따라서 變換裝置의 整流 pulse數에 의해서 制約되는 限界는 있으나 以前의 Ward Leonard와 比較하면 應答性 및 安全性이 向上하였다.

한편 電動機側에서 制御性에 關係되는 것은 (a) 慣性 moment (b) 電機子電流의 變率을 들 수 있다. 電源의 應答이 向上하더라도 回轉系의 慣性 moment가 크면은 回轉速度의 速應性이 좋지않다. 가령 epoxy樹脂 眞空含浸이나 H種絶緣의 採用 또는 通風冷却의 合理化 등으로 低慣性化의 成果를 얻을 수 있다. 한편 電機子電流가 急變한 경우 補極磁束은 磁極內的 渦電流

때문에 뒤떨어지게 되어 이것 때문에 整流가 惡化되고 그 制約 때문에 制御性能에 制限을 준다. 이 對策은 固定子 yoke, 및 磁極의 積層化와 整理解析의 精度向上 등으로 成果가 있다.

2.4.2 交流電動

電力電子工學의 應用인 交流可變速驅動 system은 먼저 卷線型誘導電動機의 Scherbius制御에 應用된 후 強制轉流形變換裝置의 出現以來 合纖機械用으로 小形同期電動機(Reactance形 및 永久磁石)의 揃速運轉에 많이 適用되었다. 그 후 産業의 多分野에 各種의 交流可變速 system이 適用되어 왔다. 이것들의 代表的인 方式에 관한 動向을 簡單히 기술한다.

[a] 自動 Inverter에 의한 交流電動機制御 交流可變速制御를 代表하는 方式이다. 이 중 電壓形 Inverter에 의한 方式은 가령 多數臺의 小形同期電動機의 open loop에 의한 高精度의 揃速運轉이 된다. 또 電流形 Inverter에 의한 方式은 回路構成이 簡單하며 四象限運轉이 容易하게 行할 수 있는 점등이 電壓形보다 優秀한點이 많고 많은 産業分野에서 使用되게 되었다.

誘導電動機制御의 곤란한 것중의 가장 큰 것은 磁束과 電流의 位相이 一定하지 않을 때가 있다. 이것은 直流電動機에서는 磁束과 界磁에 의해서 電機子電流는 Brush位置에 의해서 定해지는 位相關係(양쪽은 電氣角 90°)에 있는것과 다른 點이다. 이問題를 解決하려고 하는것이 vector制御라 한다. 이것은 空隔中の 磁束을 알고 直流機의 界磁軸에 相當하는 磁束發生分電流와 이것과 直交하는 torque發生分電流의 分離를 하고 서로 獨立의으로 制御하는 方式이다.

[b] 無整流子電動機

同期電動機와 他勵磁式電力變換裝置를 組合한 것이 電動機의 所定の 起電力位相(回轉子位置로 檢知한다)에서 轉流를 시킨다. 그 特性은 直流機와 等價이다. 그러나 直流式(Inverter를 사용한 것) 및 交流式(cyclo converter를 사용한 것)에서도 高速時에는 過負荷耐量이 적다. 이것은 電力變換裝置가 他勵式이므로 轉流限界가 적기 때문이다. 그것 때문에 直流機만큼의 過渡應答은 期待할 수 없다.今後 制御系의 簡略化, 高壓大容量化가 期待된다.

[c] 誘導電動機 一次電壓制御

誘導電動機는 構造가 簡單하고 또 小形, 輕量, 열기이므로 이것을 使用한 制御는 매력적인 制御方式이고 다음과 같은 長點이 있다.

- (1) 回路가 比較的簡單하므로 信賴性이 높고 또 經濟的이다.
- (2) 主回路에 Reactor등의 制御 lag element를 接

續할 必要가 없으므로 電壓 torque의 應答이 빠르고 急激한 加減速이 可能하다.

(3) 各相의 thyristor는 自然轉流하기 때문에 轉流失敗가 없고 電源電壓의 變動에 대하여도 動作이 安全되어 있다.

以上の 長點에 대하여 適用에는 問題點도 있다. 첫째는 導電誘動機는 本質的으로 定 torque特性을 갖고 있기 때문에 低速에서는 高 torque, 高速에서는 低 torque가 必要한 定出力特性의 負荷에 대하여 不經濟로 되기 때문에 適用할 수 없다. 둘째는 誘導電動機는 低速運轉時에 slip에 比例한 入力を 2次回路에서 熱로 되어 消費한다. 가령 1/2의 速度에서 運轉된 電動機의 效率는 最大 0.5정도이고 극히 나쁘다. 따라서 定格速度以下에서 連續的으로 運轉하는 用途에는 Energy의 損失이 크게된다. 또 籠形誘導電動機에서는 이 2次損失이 回轉子の 發熱로 되기 때문에 大容量機에는 適用할 수 없다. 셋째는 1次電壓制御에서는 速度制御를 할 경우도 電壓을 制御하므로써 制御되는 것은 torque이고 速度는 그 結果로 制御된다. 이것 때문에 負荷變動에 대한 速度變動率은 直接 電動機速度를 制御可能한 方式에 比하여 一般的으로 떨어진다. 荷役機械에 대한 應用, 昇降機用 pump등에 使用된다.

(d) 卷線形誘導電動機의 2次電壓制御

速度制御範圍가 적은 用途에 適用되는 方式이고 電力變換裝置를 小容量으로 할 수 있고 經濟的이다. 2次電力을 他勵式 Inverter나 cyclo-converter를 使用하여 電源에 回收하는 것을 靜止 Scherbius裝置라고 한다. 또 直結한 直流機에 給電하여 軸 torque로 하여 利用하는 것이 Kraemer方式이다. 이외에 2次に 抵抗을 接續하여 이電流를 chopper制御하는 方式도 있다. Scherbius(回轉式)는 chopper方式(抵抗制御)과 比較하면 制御精度 및 應答性이 向上하고 있다.

3. 回轉機利用의 展望

지금까지 回轉機의 特徵과 應用되는 實例에 대하여 간단히 기술하였지만 어느 것이나 回轉機가 타의 電氣機械과는 다른 特有的 機能과 特性上的 樣多性이 結合되어 應用되는 경우가 많다. 또한 電氣機械를 適用하려고 하는系統 用途의 特殊性에 適合한 것이 實用化되고 많이 利用된다. 다음에 回轉機의 特徵의 機能의 動向 展望에 대하여 기술한다.

3.1 Energy變換機能의 應用擴大

이미 아는 바와 같이 電氣의 Energy를 直接의 形으로 貯藏하는 것으로는 condenser, 蓄電池 등이 있을 뿐이

고 그 規模는 적다. 따라서 大容量의 Energy의 貯藏으로서는 揚水發電所와 같이 位置 Energy等, 機械的 Energy貯藏이 實用的이다. 現在 研究되고 있는 貯藏의 形으로서는 I) Fly-wheel II) 壓縮空氣 III) 化學水素 IV) 超電導 magnet등이 있지만 I) II)는 반드시 回轉機가 Energy變換의 主役으로 되는 것이다. 또한 最近의 Energy의 多樣化에 따라서 太陽Energy, 波力 Energy等 分散된 Energy의 制御이 開發研究되고 있다. 이와 같은 Energy를 利用하는 手段으로 太陽電池等에 의한 電氣에의 變換手段도 있지만 波力, 風力等の 力學的 Energy의 利用에는 回轉機가 가장 有效한 手段으로 生覺된다.

3.2 回轉機多樣性的 擴大

回轉機의 多樣性에 關하여 回轉機의 型式 各各에 대한 그特色을 모두 기술하기는 어려우나 micro motor라고 稱하는 小容量부터 1000MW의 Turbine發電機까지 있다. 또 回轉數에 關하여도 거의 停止狀態에서 torque만이 發生되는 torque motor에서 100,000(rpm) 級의 超高速機까지 있다. 따라서 거의 모든 用途에 대하여 適用할 수 있는 電氣機械이다.

Thyristor裝置의 工業分野에 進出은 현저하고 그 應用範圍가 많지만 그反面 高周波電流나 無効電力등의 thyristor裝置特有의 短點을 無視할 수가 없다. 또 從來의 回轉機와 比較하면 一長一短이 있으므로 計劃할 경우 이것들의 長點을 充分히 檢討할 必要가 있다.

한편 thyristor等の 新技術의 出現에 의해서 回轉機의 새로운 機能 性能이 나온 것도 있다. Brush less 同期機는 그 一例이고, 小型輕量의 電子機器를 回轉機軸上에 mount(取付臺) 할 수 있도록 되었기 때문에

Brush, slip ring이 不必要하게 되고 保守의 輕減, 惡條件에서의 回轉機의 適用이 可能하게 되었다. 이와 같은 方面에 回轉機의 應用은 將來에 많이 出現할 것이고 注目되는 方向이다.

3.3 電動機制御의 展望

多樣化하는 社會의 要請을 받아서 動力傳達 및 變換의 重要한 位置를 占有할 것이며 그러기 위해서는 電動機 및 電力變換裝置의 固有技術은 勿論 電動機制御하는 立場에서 技術開發이 加一層 促進될 것이다. 今後 豫想되는 方向은 a) 大容量化 高壓化 b) 小容量簡易形 c) 高精密驅動 d) 交通機關에 새로운 方式의 適用이다 電動機는 産業用은 勿論 모든 分野의 動力傳達 및 變換等 制御때문에 今後도 重要한 役割을 할 것이다. 따라서 電動機固有의 技術開發은 勿論 各種의 制御裝置와 組合하여 技術은 加一層 進歩할 것으로 본다.

4. 結 論

電氣機械에 있어서 回轉機의 特徵, 動向應用例의 各機器의 機能, 性能上의 長短點을 간단하게 기술하였다 電動機의 技術은 아직도 飽和되지 않고 있음을 알 수 있고 技術의 多樣化와 더불어 使用하는 側에서의 多樣化가 今後 현저하게 開發出現될 것으로 豫想된다.

여기에서는 주로 回轉機를 中心으로 論하였지만, 他의 電氣機械의 技術進歩에 의한 回轉機의 새로운 性能 機能이 擴大하는 경우도 있을것이고 各電氣機械의 特色用途等 系統的인 總合技術의 組合으로 最高의 能力을 發揮되기를 期待한다.

<p.15 계속>

7. 結 言

지금까지 車輛用誘導電動機의 인버터 制御方式의 實用化에서 생기는 問題點을 檢討하였다. 이것을 要約하면 다음과 같다.

(1) 誘導電動機의 인버터制御方式는 車輛動力方式에 適合한 많은 長點을 갖고 있다.

(2) 優秀한 粘着性能이 얻어지고 또 誘導障害에 대

하여서도 制御方式와 同等한 水準으로 가져갈 수 있다.

(3) 重量에서 制御裝置는 制御方式에 比하여 인버터制御方式이 약간 무겁지만 主電動機를 輕量化할 수 있어 全體로서는 制御方式과 같은 程度로 가져갈 수 있다.

注: 이 글은 日立評論 Vol.61, No.(1979-5)의 "Induction motor propulsion system for Transit cars"에서 重要한 部分을 拔取한 것임.