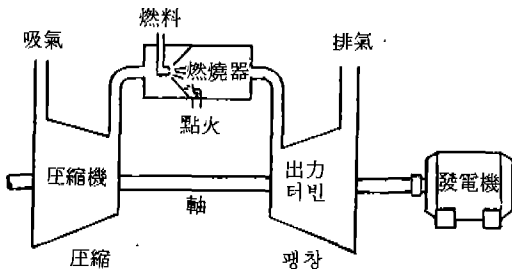


최근 일본의 경우 공장 등에서는 排熱이나 排 가스·排蒸氣를 再利用하여 發電함으로써 에너지 절약에 도움을 주고 있는데 이러한 경우 發電機로서는 誘導發電機가 많이 사용되고 있다고 한다.

여기서 誘導發電機란 어떠한 發電機인가, 그 特徵과 適用上 유의점 등 개요를 소개하기로 한다.

1. 驅動機의 選定

구동 에너지源이 무엇인가에 따라서 驅動機의 選定을 하게 된다. 통상, 호텔·빌딩·백화점 등의 경우 에너지源의 입수 용이성 때문에 디젤이나 가스 터빈 機關이 사용되고 공장의 排氣나

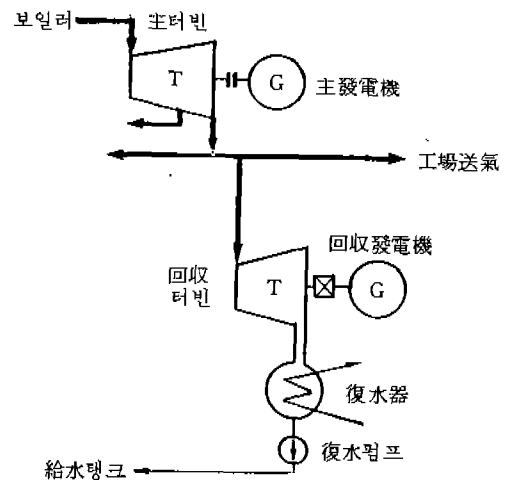


〈그림 1〉 가스터빈 사이클

排蒸氣 이용의 경우는 주로 증기 터빈이 사용된다. 利用 사이클의 대표적인 예를 그림 1~3에, 驅動機의 차이에 따른 비교를 표 1에 든다.

2. 誘導發電機의 原理

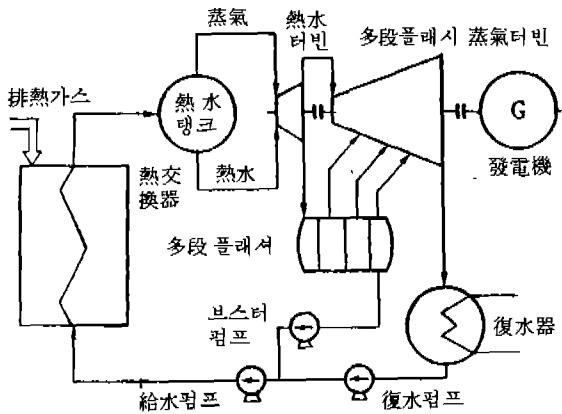
誘導發電機는 誘導電動機를 그대로 同期速度 이상으로 외부로부터 구동시켜 주면 쉽게 발전기가 된다. 유도전동기를 無負荷로 운전하면 전동기는 機械損을 이겨낼만한 토크를 발생하기때



〈그림 2〉 工場에 있어서의 蒸氣回收 利用 사이클

문에 약간의 슬립으로 회전한다. 다음에 회轉子를 同期速度 이상으로 外部에서 回轉시키면 回

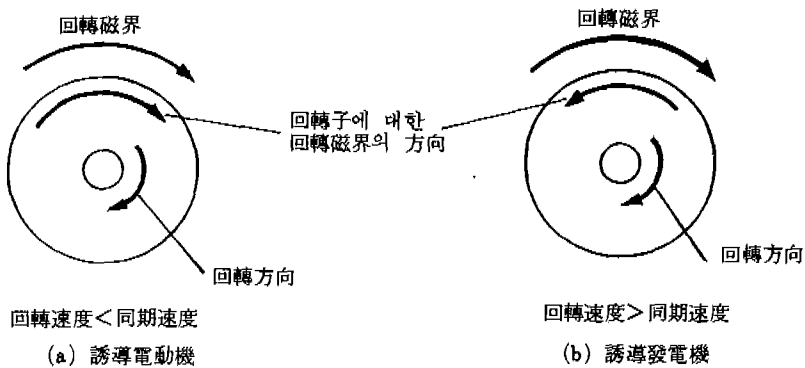
轉子 導體는 磁界를 추월하여 회전하므로 2차 유도전압의 方向이 同期速度 이하인 경우와 반대로 된다. 이 유도전압에 의해 흐르는 2차 電流와 磁界의 사이에 回轉子의 回轉을 방해하는 方向의 토크가 생기며 발전기로서 작용한다. 즉 外部에서 주어진 機械力이 電力으로 變하여 發電機가 되는 것이다(그림 4).



〈그림 3〉 高温 熱源回收 사이클

3. 誘導發電機의 特性

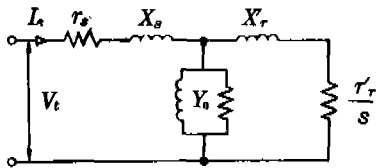
일반적으로 유도발전기의 特性은 等價回路로 표현된다. 유도발전기의 경우는 유도전동기의 等價回路의 슬립을 負로 하면 유도전동기의 特性式을 그대로 이용할 수 있다. 그림 5에 유도발전기의 等價回路를 표시한다.



〈그림 4〉

〈표 1〉 蒸氣 터빈, 가스터빈, 디젤 엔진의 比較

No.	項 目	蒸氣터빈	가스터빈	디젤
1	燃 燒 方 式	外 燃	內 燃	內 燃
2	用 途	常 用	常 用, 非 常 用	常 用, 非 常 用
3	始 動 特 性	보일러 暖氣까지 約 30分 터빈 기동까지 約 15分	中小容量 40秒 可能 大容量 約 20分	10~15秒 可能
4	最 大 容 量	制 限 無	100MW 程 度	40MW 程 度
5	燃 料	"	重油, 輕油, 燈油, 가스	重油, 輕油(燈油, 가스)
6	單 体 的 熱 効 率	良	惡	가스터빈보다 좋 다
7	코 · 제너레이션 利 用 時 的 熱 効 率	惡	良	良
8	設 置 場 所 的 選 擇 度	小	大	大
9	發 生 振 動	小	小	大



- I_s : 固定子一相의 電流
- V_t : 端子電壓
- Y_0 : 勵磁어드미턴스
- Z_s : $r_s + jX_s$ (固定子一相의 누설 임피던스)
- Z_s' : $r'_r + jsX'_r$ (回轉子一相의 누설 임피던스
의 固定子換算值)
- m : 相數
- f : 周波數
- s : 슬립

〈그림 5〉 誘導發電機의 等價回路

그림 5에서 固定子 一相의 電流 I_s 는

$$I_s = V_t \left(\frac{Z'_r Y_0 + s}{Z'_r + sZ_s + Z_s Z'_r Y_0} \right) \quad (1)$$

발전기의 出力 P 는

$$P = 3 V_t I_s \cos \varphi \quad (2)$$

여기서 $\cos \varphi$: 발전기 力率

로 구해진다.

誘導發電機는 동일 速度에서 유도전동기와는 거의 동일한 出力이 되므로 예를 들어 500kW 유도전동기는 거의 500kW의 유도발전기로서 사용할 수 있다. 誘導發電機의 出力은 그림 6과 같이 電壓·周波數가 일정하면 回轉速度에 의존하고 있으므로 驅動機의 回轉速度를 上昇시키면 發電機 出力도 증가한다.

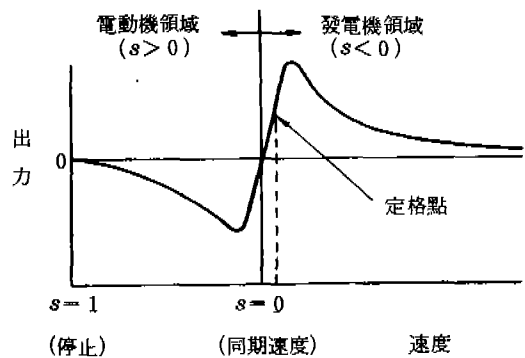
유도발전기는 發電機 내부의 回轉磁界를 형성하기 위한 勵磁電流, 즉 無効電力을 外部에서 공급하여야 하며 同期發電機처럼 單獨으로의 운전은 할 수 없다. 따라서 반드시 다른 電力系統과의 並列運轉이 된다. 필요한 勵磁電流가 크면 클수록 (極數가 많은 發電機 → 低速의 發電機) 發電機 力率은 낮다.

유도발전기의 出力에 대한 特性 變化의 예를 그림 7에 든다. 유도발전기의 端子周波數는 系統의 周波數이며 回轉速度에는 전혀 관계가 없

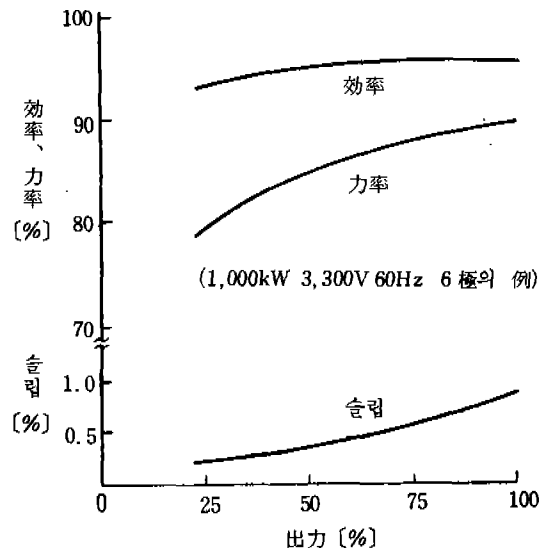
다. 따라서 驅動機 速度가 공급 에너지에 의해 변화하여도 電壓·周波數는 系統과 동일하며 왜곡 없는 양호한 電力을 얻을 수 있다. 또 그림 6의 出力은 동일한 回轉速度에서 電壓의 상승에 비례하여 변화하므로 最大出力은 定格出力의 160% 이상으로 하여 電壓변동에 대한 安定性을 갖게 하고 있다.

4. 誘導發電機와 同期發電機의 비교

發電機로서는 종래부터 同期發電機가 많이 사



〈그림 6〉 誘導發電機의 出力과 速度의 關係

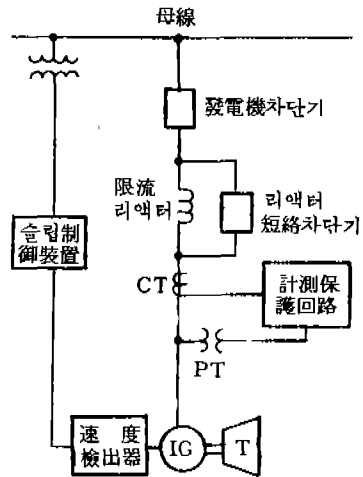


〈그림 7〉 誘導發電機의 特性

용되고 있다. 표 2에서 유도발전기와 동기발전기를 비교하였다. 유도발전기는 부대설비가 적고 구조가 견고하며, 운轉의 操 作·保 守가 용이하다. 그림 8, 9에 일반적인 誘 導 發 電 機와 同 期 發 電 機의 單 線 圖를 든다.

5. 誘 導 發 電 機 適 用 上 的 的 意 義 點

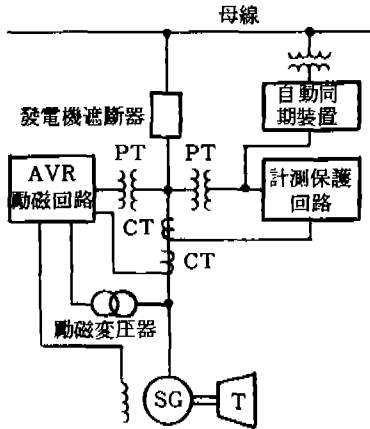
유도발전기는 전술한 바와 같이 여러가지 利 點을 가지고 있지만 適 用하는에 있어서는 다음과 같은 送 配 電 系 統 的 的 問 題에 대해 充 分한 檢 討 가 必 要하다



〈그림 8〉 誘 導 發 電 機 方 式 的 單 線 圖 例

〈표 2〉 誘 導 發 電 機 和 同 期 發 電 機 的 比 較

項 目	誘 導 發 電 機	同 期 發 電 機
1. 構 造	<ul style="list-style-type: none"> · 勵磁機 회진 不要 · 保 守, 點 檢이 容 易 · 回轉子가 籠形구조이기 때문에 견고하고 고 속화가 용이 · 空 隙이 比 較 的 小 だ. 	<ul style="list-style-type: none"> · 勵磁機, 回轉整流機가 必 要 · 界磁導體絶緣이 必 要 · 空 隙이 比 較 的 大 だ.
2. 寸 寸, 重 量	· 小 型 輕 量	
3. 單 獨 運 轉	· 勵磁電力을 外 部 從 供 給 할 必 要 가 有 且 不 可	· 單 獨, 並 列 運 轉 모 두 可 能
4. 役 務	<ul style="list-style-type: none"> · 低 速 機 轉 速 低 且 前 進 役 務 的 可 能 性 有 且 小 だ. · 系 統 上 的 的 力 率 是 無 功 電 流 分 數 只 有 低 下 故 而 補 償 器 를 設 置 必 要 有 且 小 だ. 	<ul style="list-style-type: none"> · 接 入 時 的 負 荷 的 役 務 的 可 能 性 有 且 小 だ 然 而 一 般 的 是 90~80%로 運 轉 電 流 公 率 供 給 · 勵磁의 調 整 以 負 荷 率 到 對 應 役 務 的 可 能 性 有 且 小 だ.
5. 負 荷 變 動	· 急 激 的 負 荷 變 動 或 是 逆 轉 運 轉 到 對 應 可 能 性 有 且 小 だ	· 急 激 的 負 荷 變 動 的 情 況 下 是 脫 調 的 事 實 有 且 小 だ.
6. 系 統 併 入	<ul style="list-style-type: none"> · 系 統 與 之 電 壓 位 相 對 應 不 必 要 有 且 小 だ. · 併 入 時 的 突 入 電 流 是 大 故 而 電 源 系 統 的 負 荷 情 況 下 是 限 流 電 阻 器 를 設 置 必 要 有 且 小 だ. · 併 入 時 的 電 壓 降 低 到 對 應 突 入 電 流 的 大 小 是 變 化 不 大 然 而 電 壓 降 低 到 對 應 的 時 間 縮 短 爲 快 速 運 轉 部 分 中 併 入 的 事 實 有 且 小 だ. 	<ul style="list-style-type: none"> · 自 動 同 期 併 入 裝 置 的 可 能 性 有 且 小 だ 故 而 電 壓 位 相 對 應 併 入 必 要 有 且 小 だ. · 併 入 時 的 電 氣 的, 機 械 的 損 傷 是 極 小 的.
7. 故 障 時	· 系 統 的 短 路 故 障 的 情 況 下, 過 渡 電 流 是 大 然 而 持 續 時 間 的 短 路 電 流 是 不 大 的.	· 系 統 的 單 相 故 障 的 情 況 下, 時 間 與 之 同 步 減 小 的 是 過 渡 電 流 和 持 續 時 間 的 短 路 電 流 是 大 的.
8. 制 御 裝 置	<ul style="list-style-type: none"> · 調 速 機 (거버너)가 必 要 不 有 且 小 だ 故 而 可 能 性 有 且 小 だ. · 勵磁裝置가 不 要 	<ul style="list-style-type: none"> · 勵磁裝置가 必 要 · 自 動 同 期 併 入 裝 置가 必 要



(그림 9) 同期發電機方式的 單線圖例

가. 併入時 突入電流

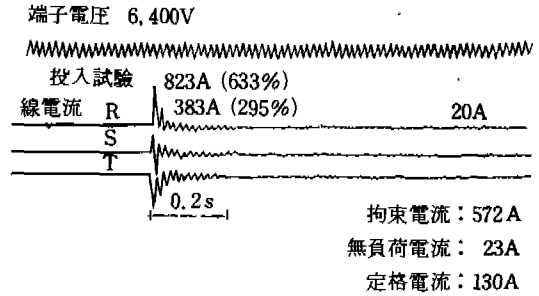
유도발전기를 系統에 併入하는 경우, 回轉速度를 同期速度 부근에 맞추어서 併入하지만 發電機 자체는 無勵磁의 상태이므로 併入時에는 定格電流의 6배 정도의 突入電流가 흐른다. 이 突入電流는 수 사이클에서 감쇠하지만 突入電流로 인한 전압강하가 일반 配電線에 접속된 다른 機器에 대해 나쁜 영향을 미치지 않도록 하여야 한다.

併入時의 슬립을 작게 하면 突入電流의 지속 시간은 짧아지지만 電流의 최대값은 변하지 않는다. 併入時의 회전속도를 同期發電機와 같이 微調整하여도 그다지 의미가 없고 통상은 동기 속도의 $\pm 3\%$ 정도 이내로 충분하다. 지속시간을 더욱 짧게 하고 싶은 경우는 슬립 調整裝置를 설치한다. 突入電流의 최대값이 문제되는 경우는 併入用 限流 리액터를 설치한다. 단, 리액터의 時間定格은 아주 짧아도 된다. 그림 10은 유도발전기를 併入하였을 때의 電流 오실로그래프의 예이다.

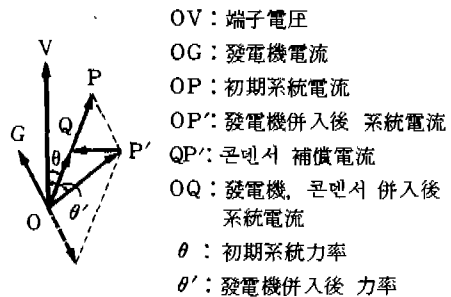
나. 力率改善과 自己勵磁現象

誘導發電機는 勵磁에 필요한 無効電力을 系統에서 받기 때문에 유도발전기를 系統에 併入하면 유도발전기의 여자전류에 의해 系統의 力率이 저하된다(그림 11).

발전기 용량이 비교적 큰 경우는 無効 電力에



(그림 10) 系統併入時의 突入電流 오실로그래프



(그림 11) 벡터圖 (系統과의 並列時)

의한 系統의 電壓變動도 문제되는 일이 있다. 계통전류가 유도발전기의 電流보다 훨씬 큰 경우는 力率의 저하는 문제되는 일은 없지만 이 비율이 상당히 접근하는 경우는 力率改善用 콘덴서를 並列로 접속하는 것이 일반적이다.

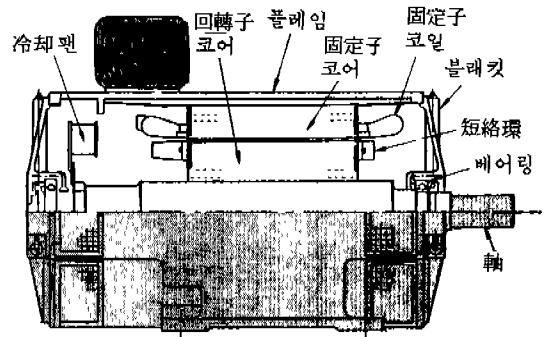
이 경우에는 다음에 설명하는 自己勵磁現象에 의한 高電壓의 誘導에 주의하여야 한다. 발전기의 端子에 콘덴서를 접속한 그대로 回轉昇速시키면 發電機의 殘留磁氣에 의해 自己勵磁을 일으켜 電壓을 발생시키는 일이 있다. 殘留磁氣에 의한 電壓은 同期速度에 있어서 定格電壓의 0.5~1.0% 정도이지만 콘덴서의 용량이 큰 경우는 이 정도의 殘留電壓에서도 自己勵磁에 의해 高電壓이 될 뿐 아니라 系統 併入時의 電壓位相의 同期檢定도 필요하게 된다. 또 콘덴서가 접속된 그대로 급한 負荷遮斷을 하게 되고 負荷차단 후의 속도 上昇으로 周波數가 높아져서 더욱 自己勵磁이 일어나기 쉬워진다.

그림 12에 유도발전기의 無負荷 勵磁特性曲線과 콘덴서 特性의 관계를 표시한다. 이러한 自

已勵磁現象을 방지하기 위해 흔히 콘덴서는 發電機 차단기의 계통측에 설치하거나 또는 콘덴서를 단독으로 投入, 解列할 수 있게 한다.

다. 系統條件과 發電機의 安定性

유도발전기의 出力은 回轉速度와 端子電壓에 의존하므로 系統의 電壓이나 周波數가 변동하면 그림 13과 같이 特性이 變化한다. 예를 들면 토크 特性이 破線으로 表示된 것처럼 變化的인 경우는



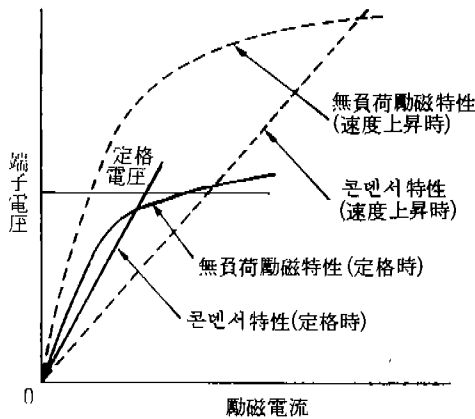
〈그림 14〉 誘導發電機의 構造圖

새로운 安定點은 얻지 못하고 發電機가 계통이 탈한다.

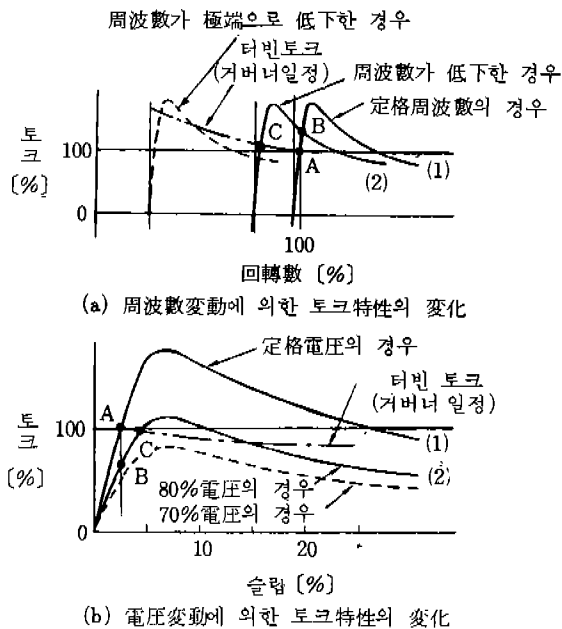
일반적으로 事故 때문에 低電壓이나 停電이 된 경우는 低電壓 繼電器에 의해 일단 發電機를 停止하고 계통 복구 후에 再始動하여 併入하는 일이 많기 때문에 安定度를 높이는 일은 드물다.

6. 誘導發電機의 構造와 保守·

點檢



〈그림 12〉 發電機의 無負荷勵磁特性과 콘덴서 特性



〈그림 13〉 系統變動에 의한 特性變化

유도발전기의 構造는 유도전동기의 구조와 거의 같다. 통상 유도전동기처럼 始動 토크를 發生, 負荷를 速度 제로로부터 驅動할 필요가 없기 때문에 機械的 衝擊이 적고, 始動時의 回轉子 導體發熱에 의한 熱應力도 작다. 따라서 유도전동기보다 機械的·熱的 影響이 낮다.

그렇지만, 유도전동기와 달라서 급한 負荷 차단시에는 반드시 速度 上昇이 있으며 터빈 등의 무구속 속도(定格速度的 약 2배)에는 견디는 構造로 하여야 하므로 遠心力에 의한 應力이나 振動特性에는 많은 주의를 요한다. 橫軸 유도발전기의 구조 단면을 그림 14에 든다.

유도발전기의 回轉子는 回轉子棒이 각 홈에 있고 그 끝부분은 短絡環으로 短絡되어 있으며 단단한 구조로 되어 있다. 구조가 대단히 단순하므로 保守도 극히 간단하고 통상 絶緣의 메거 測定과 베어링 주위의 點檢만으로 된다.