

< 解 說 >

風力에너지의 開發現況

The Development Aspect of Wind Energy

趙 江 來*

Kang-Rae Cho

1. 風力の 潛在에너지

오늘날과 같은 資源難 時代에 風力은 永久의인 에너지源으로서 커다란 관심을 모으고 있다. 美國 科學財團과 NASA의 전문가들이 1972년에 조사한 바에 따르면 美國大陸과 알류산 列島 그리고 東部 海岸地方에서 바람으로부터 얻을 수 있는 動力은 약 10^5 GW나 된다고 한다. 이것은 1980년의 예상 總動力需要의 30배나 되고 또한 그때의 美國의 豫想發電能力을 100배나 넘는 막대한 양이다.

따라서 美國은 에너지開發 專擔機關 ERDA(Energy Research and Development Administration)를 두고 2000年代의 豫想 에너지 消費量 6×10^{12} KWh의 8%를 風力發電으로 충당할 수 있도록 막대한 豫算을 들여 (1975년 8백만불, 76년 1천 4백 5십만 불, 77년 2천 4백만 불) 風車開發에 박차를 가하고 있다.

2. 風力發電의 經濟性

風力에너지 이용에서 근본적인 문제는 風車의 어느 정도의 크기와 가격으로서 어느 정도의 에너지를 얻을 수 있는가 하는 지극히 經濟的인 문제이다. 손실이 없는 理想的인 風車에 의해 바람으로부터 얻어들이 수 있는 動力, 즉 動力係數는 간단한 運動量理論에서 알 수 있는 바와 같이 0.59이다. 動力係數는 風車의 形成 運轉條件, 摩擦損失의 정도에 따라 0.59이하의 여러 값을 나타내며, 다음과 같이 정의된다.

風車의 動力係數(C_p)

$$= \frac{\text{(風車에서 얻어지는 動力)}}{\text{(風車面 통과 풍력에너지)}}$$

風車의 動力係數 C_p 를 前方風速에 대한 回轉翼 末端 周速度의 比 δ 를 變數로 하여 계산해 보면 理想的인

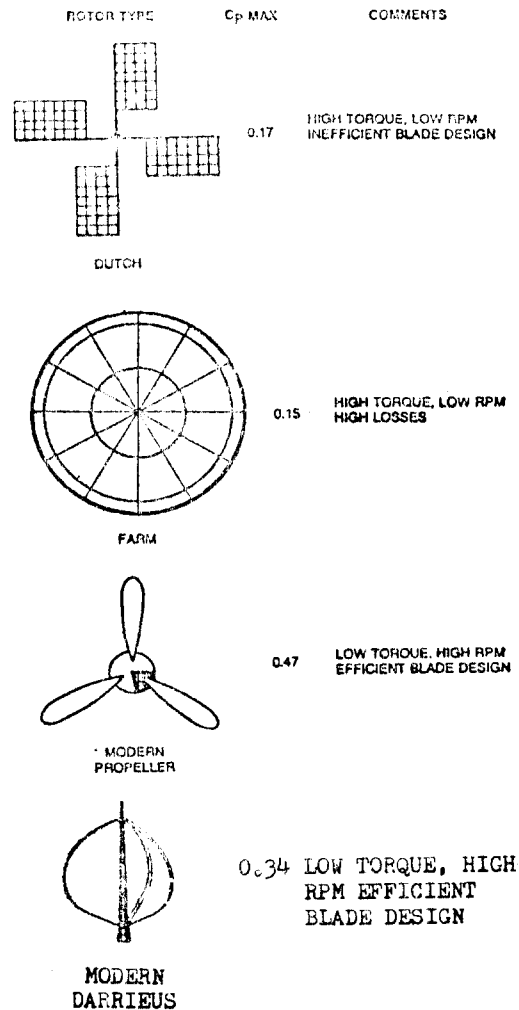


Fig. 1 The maximum power coefficient for several types of rotor designs.

* 正會員, 延世大學校 工科學大

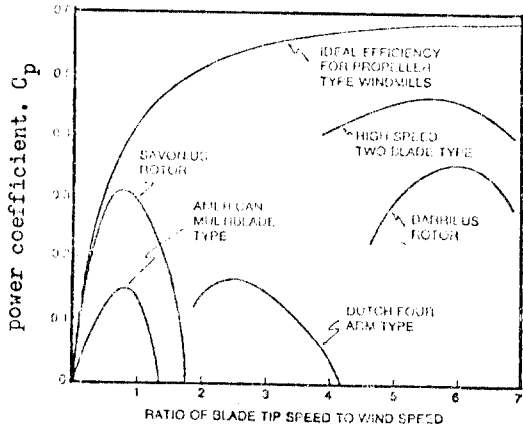


Fig. 2. Typical performance curves for different types of wind machines.

風車의 경우 $\delta=5\sim6$ 에서 $C_p \approx 0.59$ 로 된다.

한편, 풍차로서 잘 알려져 있는 和蘭風車, 美國風車 그리고 最新形의 프로펠라 風車에 대한 最大 動力係數는 각각 0.17, 0.15, 및 0.47 (Fig. 1參照)이다. 이들의 動力係數 C_p 가 速度比 δ 에 대하여 제시된 것은 Fig. 2와 같다. 動力係數 C_p 가 크다는 것은 같은 風力의 에너지를 적은 風車面積으로 抽出할 수 있다는 의미를 지니고 있다. 따라서 같은 出力이면 動力係數가 클 수록 風車크기는 작아지고 經濟性은 높아진다. Fig. 2에서 보던 動力係數가 비교적 높은 것으로 Darrieus形 風車가 있다. 다리우스 形風車는 그 構造상 起動時外部에서 起動動力을 주어야하는 欠點은 있으나, 軸이 垂直이고 風車出力이 風向의 영향을 받지 않는 長點을 지니고 있어서 현재 프로펠라形과 함께 開發有理由로서 注目을 끌고 있다.

• 風力에너지 變換裝置, 즉 風車의 最終的 經濟性 問題는 그것으로 인하여는 電力單價와 既存電力單價의 比較에서 檢討되어야 한다. 風車에 의한 發電單價는 化石燃料을 燃料로 하는 發電所 發電單價에 비해 아직은 상당히 높다. 그러나 風車 發電施設의 價格은 그 施設規模가 커짐에 따라 그리고 大量生産技術이 導入됨에 따라 크게 떨어지는 것으로 기대된다. Fig. 3, 4, 는 在來式 小形風車를 기준으로하여 發電容量과 施設費의 關係를 조사한 결과를 나타내고 있다. 이것으로 보아도 發電容量이 클수록 發電單價가 線形的으로 떨어지 있음을 알 수 있다.

지금 바람의 平均速度를 약간 높게 취하고 현 시점에서 發電單價를 見積한 것을 보면 本線價格(busbar price)으로 20~30 mills/KWh 정도로 될 것으로 예상

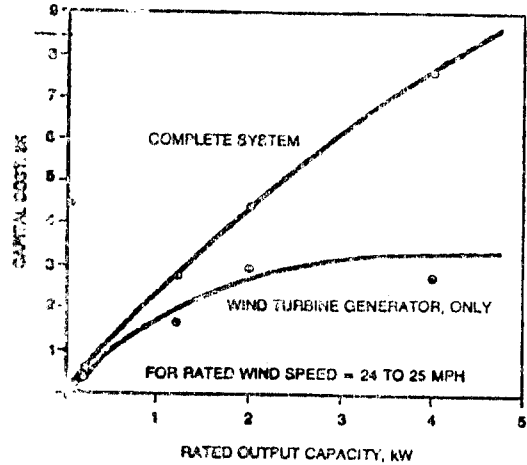


Fig. 3. Capital cost of small conventional wind machines.

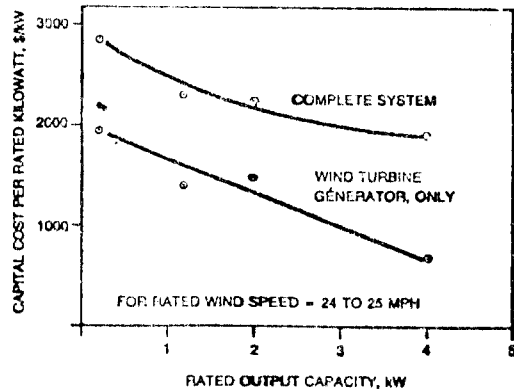


Fig. 4. Capital cost per rated kilowatt for small conventional wind machines.

하고 있다. 이 發電單價는 디젤發電施設로서 10~11 \$/bbl (barrel) (63~69 \$/m³)의 기름을 사용할 때의 發電單價에 해당한다. 따라서 에너지 貯藏施設이 없는 在來式 風車發電施設은 디젤發電施設과 같은 既存의 發電施設에 연결하여 바람이 불 때 燃料을 節約할 수 있도록 활용될 수 있고, 적당한 에너지 貯藏施設은 갖춘 風車發電施設은 既存發電施設 대신 代用될 수 있을 것이다. 그리고 이들의 어느 경우도 10~11 \$/bbl (63~69 \$/m³)의 기름을 사용한 發電單價와 비등하게 될 수 있는 風車發電 風速은 평균 약 15mph (25km/h, 6.7m/s)으로 될 것이다. 이 單價等價 風速을 보다 알맞게 낮추기 위해서는 보다 高性能이고 보다 價格이싼 風力發電施設을 開發할 필요가 있다.

經濟性 判斷에서 잊어서는 안될 것은 風力發電施設은 在來式 發電施設에 비해 環境汚染이 매우 적다는

것이다. 風力發電施設은 水力發電施設처럼 큰 陸地面積의 犧牲 또는 自然生態의 變化를 가져오는 일은 없고, 더군다나 化石燃料 또는 核燃料 發電施設에서처럼 廢棄物이 생긴다거나 또는 熱化學的 排出物이 나오는 일도 없다.

3. 美國에서의 風力發電의 實績과 計劃

過去의 實績

이제까지 수 많은 風力機械가 研究·製作되었지만 그 어느 것도 오늘날의 動力需要에 적합한 것은 없었다. 20世紀에 들어서 美國에서 두개의 代表的인 動力發電計劃이 시도되었다. 이들은 Palmer Putman과 Julius D. Madaras의 두 個人에 의해 시도된 것이며 각각 Smith Putman machine과 Madaras Rotor Power Plant라고 불리고 있다. 이들은 결국 失敗로 끝났지만 그 내용은 다음과 같다.

Smith Putman machine : 이것은 이제까지 세워진 것 중에서 가장 큰 風力發電風車이었는데 塔의 높이가 110ft (34m)이고 두 날개를 가진 프로펠러형 風車이고, 로우터(rotor) 直徑은 175ft(55m)에 그 무게가 16

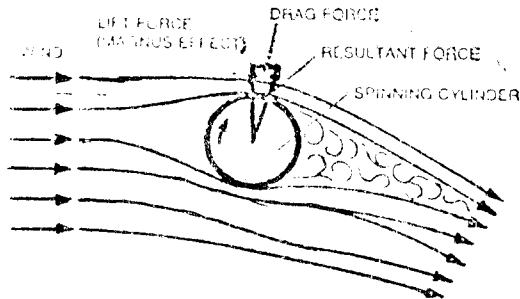


Fig. 5. The above diagram illustrates the principle of the Magnus effect—first discovered in the mid-18th century—on which the concept of the Madaras Rotor is based.

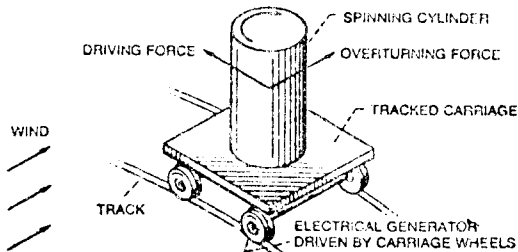


Fig. 6. The Madaras invention was in essence a clever system for utilizing the Magnus effect to drive a cylinder mounted on a moving carriage and incorporating a generator.

ton (15ton)이나 되며, 평균 回轉速度 28rpm으로 돌면서 1.25MW의 출력을 내도록 設計되어 있었다.

그러나 1945년 3월 試驗運轉 중에 한쪽 날개가 허브(hub) 근처에서 부러져 버렸다. 이 事故를 계기로 하여 經濟性調查를 한 결과 既存의 火力이나 水力發電과 비교하여 經濟性이 없다는 것이 밝혀져 이 計劃은 포기되고 말았었다.

Madaras Rotor Power Plant : 이것은 1912년 Madaras가 發明한 것으로서 그 基本原理는 回轉圓筒에 작용하는 橫 磁 Magnus效果(Fig. 5)를 이용한 것이다. 이 發電施設은 Fig. 6과 같이 圓環軌道위를 움직일 수 있는 四輪트럭위에 100ft (30m) 높이의 回轉圓筒이 세워진 것이었다. 圓筒은 小形모우터에 의해 垂直軸을 中心으로 回轉하여 그것으로 발생한 Magnus Force에 의해 트럭은 進行하고 트럭에 塔載된 發電機에서 發電된 電氣는 트롤리(trolley)를 통해서 動力線으로 送電되도록 되어 있었다.

이 風力發電施設은 設計上 6mph 以上の 風速에서稼動될 수 있도록 되어있었고, 100~120mph를 넘는 強風에서도 견딜 수 있는 것으로 評價되었으나 1933년 試驗用 모델이 제작되어 그 性能을 查 試驗해 보기도 전에 強風에 의해 쓰러지고 말았다.

ERDA 計劃

이상과 같이 얻어온 失敗로 인하여 오늘날에는 私企業에 의해서의 自發的인 研究는 거의 찾아볼 수 없게 되었다. 美國聯邦政府는 1974년 부터 豫算處理를 취하여 ERDA를 통해 風力에너지 開發에 착수하였다. ERDA 計劃의 主要課題는 다음과 같다.

- 1) 效果的으로 作動하는 MW單位の 風車의 機能과 그 經濟的 特性을 결정한다.
- 2) 國內 企業을 大形風車施設의 設計, 製作 및 設置에 참여토록 한다.
- 3) 公共事業體와 같은 潜在的 需要者를 본 計劃에 끌어 들임으로써 制度的, 組織的 및 技術的 共通問題를 해결한다.

이상과 같은 課題를 수행하기위해 MOD-0, MOB-OA, MOD-1, MOD-2, 의 네개의 風車製作案이 세워졌다. MDO-O는 이미 設置되어져 현재 試運轉에 들어갔으며 나머지는 현재 製作中에 있거나 또는 計劃推進 中에 있다. 다음은 이들의 내용을 요약한 것이다.

MOD-0 : 風車塔의 높이는 100ft(30m), 로우터 直徑은 125ft(38m), 同期回轉速度는 40rpm(날개 先端速度 180mph ≈ 80m/s)이다. 모우터의 回轉速度는 交流發電機의 要求로 인하여 고정되어진다. 交流發電機는 1,800

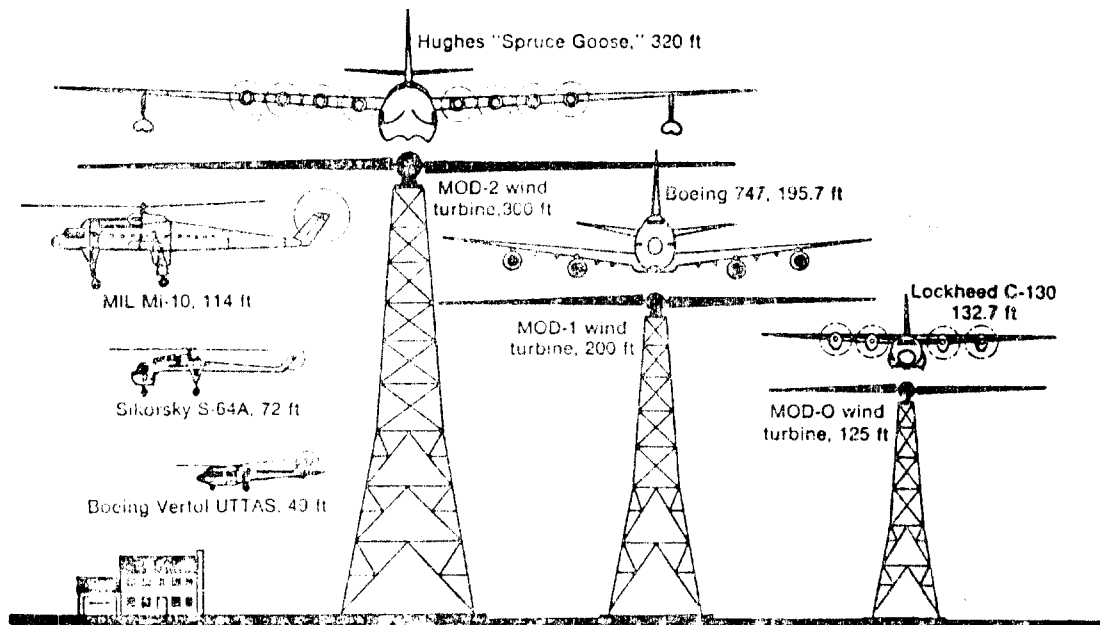


Fig. 7

rpm으로 돌아 최대 100KW(60Hz)의 出力을 낼 수 있고 同期스윗치 기어에 의해 電力網으로 編入될 수 있도록 되어있다.

風車로우터는 두개의 날개로 되어있고 한 날개의 길이는 62.5ft, 허브 위치에서의 翼弦長은 4.5ft, 末端에서의 翼弦長은 2ft, 무게는 대략 1ton이다.

본 風車の 定格出力은 風速 18mph (8m/s)에서 100 KW이며 1976년 NASA의 Plum Brook Station부근에 建設되어 현재 試驗運轉 중에 있다. (Fig. 7 참조)

MOD-OA : 이것은 근본적으로는 MOD-0와 같으며 단지 出力만이 두배인 200KW로 되어 있다. 出力增加에 따른 設計變更事項으로서 減速기어의 強度增強, 交流發電機의 容量增加, 기어박스와 交流發電機사이의 유체 킥링의 追加가 있고 날개 두께는 高負荷에 견딜 수 있도록 두껍게 되어 있고 날개 하나의 무게는 220lb (허브 除外)이다.

본 風車는 風速 22.5mph(10m/s)에서 定格出力 200 KW를 낼 수 있게 되어있고 77년 후반기에 完成될 예정에 있다.

MOD-1 : 定格出力 2MW, 로우터 直徑 195ft(59m) 定格出力時의 風車를 18mph(8m/s)로 하여 G.E. Co.가 設計製作을 擔當한다. (Fig. 7 참조)

MOD-2 : 定格出力 2.5MW, 로우터 直徑 300ft, 定格出力時의 風速을 14mph(6.3m/s)로 하여 Boeing Co가 設計製作을 擔當한다. (Fig. 7 참조)

다리우스 風車 : 앞서 언급한 바와 같이 프로펠러형과 함께 유망한 風車이다. 다리우스形으로 世界最大規模의 200KW WTG(Wind Turbine Generator)가 美國 Dominion Aluminum Fabricating Ltd.에 의해 Magdalen Island에 建設 중에 있다. 이것의 明細는 塔의 높이 날 120ft, 날개수 두장, 赤道直徑 80ft, 翼弦長 2ft, 定格回轉數 40rpm, 定格出力時의 風速 19mph(8.5m/s)이며 3相誘導電動機를 起動로우터를 설치하고 있다.

4. 韓國의 風車開發 現況

韓半島 주위에 산재하고 있는 700여 島嶼의 대부분은 아직 未電化狀態에 있다. 최근에 이들 落島의 電化를 위해 風力發電이 크게 관심을 받고있다.

觀象臺의 資料에 의하면 우리나라의 많은 島嶼들이 비교적 높은 風速을 갖고 있다.

따라서 落島의 電化에 쓰일 수 있는 비교적 小形의 風力發電시스템이 바람직한 것이다. 이를 위해 1976년도 科學技術處의 用役으로 韓國科學院이 研究製作한 프로펠라形 風力發電機의 內容은 다음과 같다.

定格出力 3.5KW, 프로펠라數 3, 翼弦長 23.5cm, 프로펠라 最大回轉速度 180rpm, 프로펠라直徑 4.5m, 交流發電機 3相 440Volt, 交流發電機 最大回轉速度 900 rpm, 蓄電池 容量 19.2kwh, 塔의 높이 10m, 定格出力에 대한 風速은 12m/S이다. 이것은 1977年 7월에 경기도 화성군 송산면 잇섬에 設置되고 현재 稼動 중에 있다.