

最近 電力技術의 進步

編 輯 室

電力技術은 電力의 生産, 輸送, 配給, 이들에 必要한 機器의 性能 또는 設備系統, 即 電力系統의 計劃, 運用 機器設備의 設計, 製作의 廣範圍에 미치나, 여기에서는 特別히 電力의 生産과 輸送, 即 發電과 送變電 關係에 對하여 簡單히 記述하여 보겠고 原子力發電에 對하여는 次機會로 處우겠다.

電力技術의 最終目標은 供給點에서의 電力 cost의 低減에 있으나, 電力의 供給은 公益의이며 公共의인 性格이 強한 것이므로 그 供給의 確保, 供給條件(電壓, 周波數 等)의 維持, 公衆保安, 他事業과의 合理的 協調 等を 維持하면서 cost down이 目標이므로 이를 大分하면 廣義의 原價의 低減, 供給의 確保, 保安의 維持 等이라 볼 수 있으며, 電力 cost는 資本費, 燃料費, 一般經費로 區分할 수 있다.

1. 他分野와의 關連

電力技術에 있어서도 他分野와 協力 或은 競合問題가 重大化되고 있는데, 이들의 數例를 들면

- (1) 發電水力과 他의 利水治水와의 協力, 即 多目的 貯水.
 - (2) 火力發電과 石油化學, gas 化學과의 協力.
 - (3) 火力發電과 海運業의 協力.
 - (4) 都市送電과 通信, 交通, gas, 上下水道와의 協力.
 - (5) 送電의 通信線誘導障害, 電波障害.
 - (6) 電力施設과 航空의 競合問題.
 - (7) 石油水力의 亞硫酸 gas 排出에 依한 公害問題.
 - (8) 海岸火力施設과 他海岸 利用의 競合.
- 等이 問題化 되리라 生覺된다.

2. 發電效率의 向上

火海發電은 數 10 年에 걸쳐 水蒸氣 cycle의 汽力에 依存되어왔다. 汽力發電에 있어서는 蒸氣溫度, 蒸氣壓을 높이는 것이 그 熱效率을 上昇시키는 基本이므로, 蒸氣溫度, 蒸氣壓을 逐次 높임에 依하여 發電效率은 높아져 熱消費率은 減少되었다.

今後 蒸氣溫度, 蒸氣壓은 材料, 鍛造, 給水處理, 送

接, 檢査 等의 關係技術 向上에 따라 漸次 높아질 것이며, 最近 入口蒸氣溫度는 初溫과 再熱溫 1,000 (537)~1,050°F (566°C), 入口 蒸氣壓 2,400 psi (169 kg/cm²), 或은 超臨界壓의 3,500 psi (245 kg/cm²) 에 達하고 있으나, 이 以上 蒸氣溫度, 蒸氣壓을 上昇함은 材料의 強度와 價格面에서 困難을 招來하게되고, 水蒸氣의 特性上 蒸氣溫度, 蒸氣壓의 上昇에 依하여 熱效率의 増分利得은 蒸氣溫度, 蒸氣壓이 높아짐에 따라 漸次 小幅이 된다.

美國의 Philadelphia Electric Co. 는 Eddystone 發電所의 325 MW 第 1 號 unit 에 技術飛躍을 하여 勇敢히 入口蒸氣壓 5,000 psi, 入口蒸氣溫度 1,200°F, 2 段再熱溫 1,050/1,050°F 이라는 記錄의 値를 採用하여 設計熱消費率 8,230 Btu/kWh (2,050 kcal/kWh, 效率 41.5%) 를 計劃하여 이를 1961 年 9 月에 運轉을 開始하여 年間 熱消費率로서 1961 年에 8,743 Btu/kWh, 1962 年에 年利用率 82.6%로서 8,534 Btu/kWh (2,150 kcal/kWh, 效率 39.9%) 의 實績을 내어 世界記錄을 세웠다. 그러나 實用性能 或은 實用經濟面에서 其後 各所에서 建設 또는 計劃되고 있는 unit 는 이線을 追從하지 않고 蒸氣溫度 1,000~1,050°F 에서 멈추고, 또 蒸氣壓도 超臨界壓이 얼어진다 해도 3,500 psi 線에서 멈추고 unit 容量의 增大에 注力되고 있다.

現在 主로 高溫材料의 關係上 蒸氣溫度는 1,000~1,050°F 線에 停滯하고 있으나, 蒸氣壓은 在來의 標準인 亞臨界壓 2,400 psi 의 線에서 1 段 위의 超臨界壓 3,500 psi 의 線에 올라 世界的으로 始作되고 있다. 그러나 蒸氣溫도와 蒸氣壓을 上升시키면 資本費가 增大되므로 電力生産費는 減少되지 않는다. 그런데 unit 容量을 크게하면 資本費 뿐만 아니라 燃料費도 減少되므로 unit 容量을 크게함에 따라 蒸氣溫度, 蒸氣壓의 上昇이 有効히 된다.

Unit 容量 300~800 MW 의 範圍에 對해서 보면 蒸氣溫度 1,000°F 를 中心으로 蒸氣壓을 2,400 psi 에서 3,500 psi 로 올리면 建設單價는 4~8%로 增加하나, 熱消費率은 4~5%만 減少하는 計算結果도 있다.

3. 新發電方式

前述한바와 같이 最近에 있어서는 發電效率의 大幅 向

上을 爲主로 하고 있는데, Eddystone 發電所의 經驗은 이를 助長하고 있어, 今後에는 高溫材料의 技術의이고 經濟的인 進歩에 依하여 蒸氣溫度 1,200~1,500°F 또는 蒸氣壓 4,000~5,000 psi 의 實用化도 可能化 되리라 믿는다. 現在 新 高溫材料도 出現되었으나, 在來의 水蒸氣 cycle 에 依하면 이 向上에만 依해도 純發電所 熱效率의 設計値는 45% 前後가 되므로 여기서 在來와 다른 新 發電方式이 檢討 研究되게 된다.

現在 問題가 된 方式은

- ① 新 動作媒質을 使用한것.
- ② 新 發電原理에 依한것.

으로 大別되는데 前者의 境遇는 2 流體方式이 問題化되고, 後者의 境遇는 現在 取해지고 있는 것으로서 MHD 發電, 熱電子發電, 燃料電池, 熱電對發電 등이 있으나, 大規模發電用으로 研究되고 있는것은 MHD 發電, 熱電子發電, 燃料電池 이다.

3-1. 水蒸氣, gas 混合 cycle: 美國의 最近 設計例를 보면 gas 或은 gas 化石炭의 燃燒 gas 自體를, 例를들어, 入口溫度 1,500°F (~800°C), 出口溫度 860°F (~500°C) 에서 gas turbine 에 넣어 그 사이의 落差熱을 電力으로 變換하고 gas turbine 의 排氣를 그대로 또는 追加燃燒熱을 加하여 汽力 boiler 에 넣어 第 2 段의 落差熱을 水蒸氣에 移動시켜 이를 turbine 에 依하여 電力으로 變換시키는 方法으로서 10 余年前 부터 實用化되었다.

이 方式은 gas turbine 發電을 在來의 汽力發電에 topping 시킨 方式으로서, 動作媒質로는 高溫部에 燃燒 gas 自體를, 低溫部에는 水蒸氣를 使用한 2 流體方式인데, 今後 技術의 進歩에 依하여 水蒸氣보다 低溫特性이 좋은 freon, ammonia, 등을 使用하면 良好하리라 生覺한다.

이 方式은 在來의 汽力發電의 熱效率 向上을 爲한 topping 方式과 主로 peak 負荷用으로서 當該 特性이 좋은 turbine 發電을 利用할 때 簡便한 開放 cycle 에 依하여 排氣熱을 다시 汽力發電으로서 回收하는 面에서 取해졌으며, 電氣事業上으로 볼 때 總合發電效率은 純汽力에 比하여 數% 높아지고 建設單價가 낮아진다. 그런데 現在 gas turbine 으로서 大汽力에 適合한 大 unit 容量이 얻어지지 않는點과 gas turbine 의 保守도 汽力 turbine 과 같이 容易하지 않은點이 短點이며, gas turbine 의 容量은 現 記錄値로서 40 MW 程度이다.

3 2. 直加熱 水蒸氣 cycle: 最近 Italy 에서는 水霧 或은 水蒸氣中에서 燃料를 燃燒하여 水蒸氣를 直接加熱하는 研究가 始作되어 今後의 耐熱材料의 進歩를 期待하면, 例를들어 이 方法으로 1,500°F 에 加熱한 水蒸氣를 特別히 設計된 turbine 에 넣어 發電할 수 있는 方法도 期待된다.

3-3. 2 流體 cycle: 熱 cycle 의 高溫域에 있어서 水蒸氣의 缺點을 避하기 爲하여 高溫域에 水銀, cesium, potassium 등을 使用하여 中低溫域에서 在來의 水蒸氣를 使用하는 2 流體 cycle 中 水銀·水蒸氣 cycle 은 예부터 W. Emmet 博士에 依하여 着眼되어 1922 年에 第 1 號가 運轉을 開始하여 其後 2 萬 kW 까지 數基가 建設되어 그 中 2 基는 現在도 運轉中이라 한다. 本 方式에 依하면 發電效率은 純汽力보다 數% 높아지나, 水銀 boiler 의 技術이 必要하고 水銀이 高價인 點 등이 短點이다.

3 4. MHD 發電: 이것은 數年前부터 Italy, America, France 등 各國에서 本格的인 開發研究가 始作되어 册上 計算에 依하면 在來 汽力發電效率은 現在 最高 40% 程度에 比하여 在來 汽力에 topping 시켜 60%, 더욱 나아가서는 65%의 總合發電效率이 얻어진다. Italy, 美國 兩國의 關係者에 依하면 約 15 年後에는 數 10 萬 kW 의 것이 運轉되리라 豫測한다.

MHD 發電의 開發은 常分油, gas 或은 gas 化石炭用과 gas 原子爐用의 2 種으로 나누어져 發展되고 있다.

4. 單位容量의 增大

電力의 需用은 國家에 따라 다르나, 6~8 年에 倍加되는 傾向이므로 電力生産과 輸送이 巨大化된다. 따라서 系統이 巨大化되면 그 構成要素인 發電所 또는 發電 unit, 送電 unit, 變電 unit 등의 unit 의 容量이 增大하지 않으면 構成要素의 數가 過多하게 되므로 系統의 運用上 不經濟的이고 如意치 못하게 되며 電力 cost 가 高價로 된다. 一使用地取得難이 걱심하여지므로 unit 容量을 增加시켜 用地利用率을 높이므로서 cost down 을 할 수 있다.

現在 美國, Italy, 日本의 汽力 unit 容量과 世界 火力發電所容量의 記錄値의 經年推移는 1955 年을 基準으로 하면 그後의 記錄値 W 는 經年數 n , K 의 冪數라 할 때 $W = Ke^{ny}$ 와 같이 幾何級數의 形式으로 激增하고 있다.

Unit 의 大形化에 따르는 技術面을 볼것 같으면, boiler 와 汽機에 있어서 設計, 燃燒, 制御, 容接, 鍛造, 材料, 檢査, 給水處理, 給水 pump 등의 諸 技術의 進歩와 特別 turbine 의 翼長의 材料強度가 問題化되나 材料技術의 向上에 따라 26 in 에서 29 in, 31 in 에서 36 in 로 延長이 됨과 同時 turbine 의 2 軸(cross compounding)化가 難點을 解決하여 unit 의 大形化를 協助하고 있다. 또한 最近에 長軸의 鍛造, 發電機의 冷却, 其他 關係技術의 進歩에 따라 蒸氣壓 超臨界壓化를 돕고 있음에 따라 1 軸(단축 롬파운드)式에서 500~700 MW unit 의 實現이 可能하게 되었다.

한편 發電機에 있어서 한때 單位容量을 上昇시키는데

設計上の困難이 있었으나 方向性珪素鋼板의 導入으로서 水素冷却, 水素의 加壓, 水素內部 冷却, 나아가서 固定子の 水內部 冷却의 開發에 依하여 發電機 設計上の 容量限界를 設할 수 있게 되고, 同一容量에 對한 發電機 寸수는 過去의 1/2, 1/3 이 된다. 但 發電機電壓은 20 kV 前後를 容易하게 벗어나지 못함을 注意하여야 한다. 今後 必要가 있으면 製作技術面에서 1,500 或은 2,000 MW unit 의 實現이 可能하게 되었다.

巨大化에 對한 抑制要因으로서는 強制停止가 系統에 미치는 影響, 用地難과 大氣汚染問題, 利用率, 輸送面, 復水用循環水의 大量取水와 高溫放水, 集中排煙에 依한 大氣汚染問題 등을 考慮하여야 한다.

5. 送電容量의 增勢

發電의 單位容量 巨大化와 아울러 送電, 變電單位容量도 巨大化되어야 하는데, 最近까지는 送電容量의 增勢을 送電電壓의 昇壓으로서 充當하였으며, 送電電壓의 昇壓으로서 數 100 km 以上の 長距離送電의 必要에 拍車를 加해왔다. 交流의 長距離送電에 있어서 送電容量은 電流容量 보다 安定極限電力에 依하여 制限되어, 이 極限電力은 送電電壓의 2 乘에 比例하여 이것을 增加시키는데는 送電電壓을 올리는 것이 더욱 效果的이고 經濟的이어서 이다.

各國의 交流 送電電壓의 記錄值을 推移하면 $V=kE^\alpha$, 但 V : 送電電壓記錄值 [kV], E : 各國의 年間總發電力量 [10^9 kWh], α : 0.43~0.48, k : 30 [火力比率 0.80] ~ 92 [火力比率 0.05] 의 關係가 있어 各國의 次期送電電壓을 豫測할 수 있으며, 現在 Europe 大陸은 400 kV 蘇聯은 500 kV 送電을 擴充中이고, Italy는 400 kV 開始는 1965 年에, 美國은 500 kV 送電을 곳곳에 建設中이며, Canada는 735 kV 送電線을 1965 年 目標로 建設을 着手하였으며, 日本은 400~500 kV 의 次期送電 開始가 數年後에 豫定되어 있다.

1 回線當 送電電力, 即 單位送電電力을 크게 할 수록 그 最經濟送電電壓은 높아 저서, 同時에 1 kW 或은 1 kWh 當의 送電費가 보다 低廉하게되어 電力의 生産과 同一하게 그 輸送에 있어서도 大量 集中輸送에 依하여 輸送費가 低減된다.

한편 送電線用地의 取得難은 用地의 購入費 或은 補償費가 높아짐에 따라 架空線이 風致를 害할 憂慮가 있다. 地中 cable 線의 單價는 架空線에 比하여 10~20 數倍가 되는 用地難을 한층 더 深刻하게 하므로 線路 1 root 當 或은 線路用地幅 1 m 當의 送電容量을 높이는 것이 用地難의 一策이 되고 있다.

또 한편 最近에 美國, 日本에서 進歩되고 있는 것은 架空線의 狹間架化인데, 이것은 鐵塔의 鐵柱化, 腕金の

碍子 或은 合成物化, V 吊方式의 採用, 全面 耐張化 等이다.

超高壓級의 架空送電線은 1 回線形으로 함이 雷害對策으로서 願하는 바이다 日本, Italy 等 用地難이 激甚한 곳에서는 2 回線形을 取하고 있는데, 2 回線 同時事故의 對策으로는 1 線高速再開閉路의 實用化, 兩回線間에 絕緣格差 付與, 系統構成과 系統連系上的 處理 等이 研究되고 있으나 全面解決은 아니다.

6. 絕緣 level 의 低減

送電電壓을 높임에 따라 送變電施設中 絕緣費가 占하는 것이 큼으로 絕緣費를 節減하는 것이 電力輸送費의 cost 를 低減하게 한다. 絕緣費의 節減은 系統의 過電壓을 抑制하기 爲한 增分經費와 機器施設의 絕緣 level 의 低減에 依한 減分經費와의 差引減分을 最大로 하여야 한다.

系統의 過電壓으로는 常時의 運轉過電壓, 雷 surge, 內部異常電壓을 生覺하여야 하나, 送電電壓이 400~500 kV 或은 그 以上이 되면 絕緣 level 을 最終적으로 決定하는것은 雷 surge 에서 內部異常電壓에 移動하게 된다. 有効接地的의 普及, 遮斷器性能의 進歩, 線路連系の 擴大, 系統定數의 補償 等の 總合으로서, 超高壓系의 內部異常電壓의 倍數는 2.5~2.8 로 抑制됨이 標準으로 되어있으나, 今後 다시 2.0~2.5 以下로 내려갈 수 있음이 期待되며 最近 海外에서는 對地 內部異常電壓 倍數를 2.0 으로 計劃되는 500 kV 變電所의 例도 있다.

變電의 主器인 變壓器의 cost 는 現在 內部 impulse 絕緣 level, 即 BIL 에 依하여 左右되므로 BIL 을 節減 시켜야 하는데, 從來 主變壓器 等の 內部 BIL 은 避雷器로서 進入雷 surge 를 制限함으로써 低減시켰다. 그런데 避雷器技術의 進歩에 依하여 現在는 1940 年初의 BIL 值에 比하여 75% 或은 그 以下로 BIL 值의 低減을 試圖하고 있다.

7. 結 言

電力의 生産 및 輸送에 關한 技術은 過去 10 餘年間에 飛躍的인 進歩를 하여 生産 및 輸送 cost 는 大幅 低減되어 在來方式에 依해서는 이 以上 向上될 수 없을 程度의 飽和狀態에 이르르고 있다. 따라서 이에 對하여 新方式의 胎動이 徐徐히 始作되고 있으나 在來方式을 야기 벗어나지 못하고 있으므로 앞으로는 이 革新的인 方式을 育成하여 在來方式을 漸次 代替하게 되리라 生覺하는 바이다.

(日本 電氣學會雜誌 1964 年 4 月號 參照)