

發電所 經濟的運用的 當面課題

成 元 模*

1. 序 論

지난해 韓國電力會社의 總 純發電量(net kWh)을 보면 2,105,849,951 kWh 로서 最大負荷電力은 年末의 392,558 kW 이다. 이것을 設備別로 볼것 같으면 水力이 726,342,081 kWh 로서 全體의 34.5%, 汽力이 1,304,486,852 kWh 로서 61.9%, 內燃力이 75,021,018 kWh 로서 3.6% 이어서 汽力發電의 比重이 훨씬 무겁다는 것을 알 수 있다. 그러나 앞으로 13萬2仟kW의 釜山 甘川火力發電所 및 10萬kW의 寧越 第二火力發電所가 竣工의 豫定이며, 蔚山 火力發電所도 建設工事が 着工할 豫定이므로 더욱더 汽力發電이 차지하는 比率이 增大할 것이 豫想된다. 한편으로는 또한 5萬7仟6百kW의 春川 火力發電所도 前年末에 全工程의 72%를 完了하여 建設工事が 착작 進行中에 있다. 따라서 앞으로는 이제까지의 需要에 간신히 應하는 供給狀態를 벗어나서 一般需家에게 良質의 電氣를 無制限 供給할 수 있을 만큼 電力에 餘裕가 있게 되었다.

이에 必然的으로 考慮할 問題로서 어떻게 하면 發電原價 即 1kWh의 電力量을 生産하는데 所要되는 cost를 低下시킬 수 있나 하는 것이 切實한 當面課題로서 擧げられる 것이다. 參考로 發電設備別 發電原價의 構成比率을 提示하면 第一表와 같다.

	水 力	汽 力	內 燃 力	綜 合
燃 料 費	—	62.8	40.7	54.6
修 繕 費	6.4	4.4	13.4	5.4
人 件 費	18.0	6.3	11.2	7.9
其他 經費	3.2	0.6	1.6	1.0
減價償却費	55.8	15.6	16.8	19.6
間 接 費	16.6	10.3	16.3	11.5
計	100	100	100	100

第 1 表 1963年度 設備別 發電原價 構成比率(%)

表에서 보는바와 같이 燃料費가 54.6%로서 제일 많고 다음에는 固定費인 減價償却費가 19.2%로서 第2位이다.

韓國 電氣部長

다음에 第2表를 보면 水力發電原價가 第一 낮고 汽力, 內燃力의 順으로 되어있고 특히 內燃力 發電原價는 엄청나게 비싸다는 것을 알 수 있다.

綜 合	水 力	汽 力	內 燃 力
1.00	0.29	1.31	2.50

第 2 表 1963年度 設備別 發電原價 比較

그런데 같은 種類의 設備과 하더라도 發電所마다 設備容量, 使用燃料 등 그 條件이 서로 相異하여 發電原價額에 懸隔한 差異가 있는 것이다. 예를 들면 같은 火力發電所라 하더라도 唐人里 舊施設은 高價인 輸入有煙炭을 燃料로 使用하여야 하므로 國產無煙炭 및 重油를 燃料로 하는 唐人里 新施設과 比較하여 燃料原價가 kWh당 3.5배나 된다. 또한 같은 構造의 馬山, 唐人里, 三陟 火力이라 하더라도 그 發電所의 位置에 따라 燃料의 輸送費에 差異가 있고 灰捨費가 달라서 kWh당 燃料原價가 同一하지 않다. 앞서 記述한바와 같이 앞으로 汽力發電이 더욱더 增加하므로 汽力發電原價의 62.8%를 占有하는 燃料原價가 水力發電까지 包含한 全 綜合發電原價에 미치는 影響이 매우 클을 알 수 있다.

이에 우리는 發電原價를 低下하는 方法을 다음 두 가지로 생각하게 된다. 첫째로는 各個 發電所의 發電原價를 節減하는 方法을 研究하는 것이고 둘째로는 全電力系統에 立脚하여 全 綜合原價를 低下시키는 方法을 講究하는 것이다. 첫째 方法에 있어서 水力發電에 있어서는 使用水量에 對한 効率向上, 使用落差(head), 使用水量과 同一出力에 對한 水車發電機의 稼働台數 決定問題 등이 있고 火力發電에 있어서는 熱損失을 最小로 抑制하여 熱效率(over-all thermal efficiency)을 向上토록 하여 發電所別 生産原價를 減少시키는 것이다. 둘째 方法으로는 增分率法(incremental rate)을 應用하여 가장 低廉한 經濟點에서 電力을 供給하도록 電力系統에 連繫된 個個의 發電所에 當時 當時의 最適出力을 給電室에서 指示하여 經濟的인 負荷配分(economy load division)을 하여 年間으로 全 綜合原價를 低下시키는 것이다.

2. 火力發電所의 經濟的 運用

火力發電은 固體, 液體 또는 氣體燃料가 含有하고 있는 熱 에너지를 電氣的 에너지로 變換시킴을 말하는데 이때의 熱效率은 다음 式으로 表示된다.

$$\begin{aligned} \% \text{ 熱效率} &= \frac{\text{出力(發生한 電氣 에너지, kcal)}}{\text{入力(投入한 熱量, kcal)}} \\ &\times 100 \quad (1) \\ &= \frac{\text{入力} - \text{損失}}{\text{入力}} \times 100 \\ &= \left(1 - \frac{\text{損失}}{\text{入力}}\right) \times 100 \\ &= 100 - \% \text{ 損失} \quad (2) \end{aligned}$$

火力發電所의 發電經費中에서 燃料費가 60~70%를 占有하고 있으므로 燃料費 減少에 努力하여야 한다. 다 시말하면 熱效率 向上에 恒常 注意를 기울여야 한다. (2)式에서 보는 바와 같이 熱效率을 向上시키려면 熱損失을 反對로 減少시켜야 한다. 火力發電設備에 있어서 損失의 分布狀況을 보면 第3表에서 보는 바와 같이 復水器에서의 損失이 第一 크고 보일러損失, 所內 電力消費의 順이다. 所內 消費電力은 不必要한 補助機器의 運

所內電力消費	7.8
Boiler 損失	17.2
給水加熱損失	3.2
터빈發電機損失	1.8
復水器損失	44.3
出力(送電量)	25.7
計	100

第3表 火力發電所의 損失分布 例(%)
(出力 25 MW 時)

Boiler 效率	82.8
Drygas 損失	4.9
燃料中水分에 依한 損失	0.7
H ₂ 燃燒로 因한 損失	1.5
CO에 依한 損失	0
未熱炭素에 依한 損失	9.6
輻射熱 損失	0.5
計	100

第4表 Boiler 損失 構成比率 例(%)
(出力 25 MW 時)

轉抑制 및 石炭粉碎機와 冷却循環水펌프의 效率的 運轉 등으로 어느程度 輕減할 수 있고 復水器損失은 主로 設計時에 決定되는 問題이므로 設計真空度를 維持하도록 努力하여 그 以上の 損失增加를 防止하도록 하여야 한다. 다음에 보일러損失은 第一 複雜하고 또한 損失 減少 可能性이 크므로 重要한 問題이다. 第4表에 보일러

損失의 構成을 表示하였다. 以上 記述한 損失을 다음에 仔細히 說明하고 그 減少策을 論하고자 한다.

a. 乾煙道개스損失 (flue-gas heat loss)

굴뚝으로 放出되는 廢氣中에는 相當한 熱量이 包含되어 있다(第4表에서 4.9%). 이것은 廢氣의 溫度와 量으로 測定되고 算出式은 다음과 같다.

$$L_f = C_{pm} V_a (T_e - T_o) \quad (3)$$

L_f : 燃料 1kg 當 廢氣損失 kcal/kg

C_{pm} : 平均定壓比熱 kcal/kmol °C

V_a : 燃料 1kg 에서 생기는 廢氣(dry gas)量 kmol/kg

T_e : 廢氣溫度 °C

T_o : 大氣溫度 °C

이 損失은 廢氣溫度에 比例하는데 이 溫度가 定格値보다 上昇하면 이것을 보일러內 熱接受面(熱傳道面)에 안밖으로 不能物이 附着되어 있음을 뜻한다. 即 外部로는 水管, 蒸氣過熱管, 節炭器 또는 空氣豫熱器 表面에 스톱(slag)가 附着 堆積된 狀態이고 內部로는 不溶性 스케일(scale)이 附着된 狀態을 말한다. 이러한 狀態下에서는 개스로부터 물 또는 蒸氣로 熱接受面을 통한 熱傳導에 妨害가 된다. 不良한 熱接受面에서 效果의으로 熱이 傳導되려면 더욱더 높은 개스溫度를 要할하게 되므로 熱傳導率의 減少는 더욱 더 많은 熱量이 굴뚝으로 放出되는 結果를 招來한다.

이를 防止하기 위한 煙우부(tubc)內의 스케일 除去는 다음 方法에 依한다.

(1) 化學藥品에 依한 罐水의 內部處理를 運轉中에 施行한다.

(2) 回轉機具로 煙우부內의 스케일을 刮어 내는 機械的 方法.

(3) 弱은 酸으로 煙우부內를 씻어내는 “Acid Washing”

外部에 附着된 스톱(slag)는 自動 스우트부로워(soot blower)로 물, 蒸氣, 또는 壓縮空氣를 使用하여 물이서 날려버려 煙우부表面을 깨끗이 한다. 既設된 스우트부로워가 미치지 못하는 場所는 臨時로 “Air Lance”를 使用하여 손으로 다루어서 불이서 날려 버린다.

現在 우리나라 火力發電所는 以上 記述한 方法을 適用하고 있으나 罐水의 內部處理問題는 煙우부의 內部腐蝕과도 關聯됨으로 더욱더 研究하여 發展시키고 있다. “Acid Washing”法은 新設 釜山(井川) 火力發電所에 처음으로 採擇한 것이고 施行結果가 좋으면 他 發電所에도 適用한 豫定이다. 釜山 埠頭發電所의 空氣豫熱器(air preheater)는 元來 設置된 스우트부로워의 機能이 微弱하여 hand air lance를 附加 使用하여 相當한 實效를

올리고 있다.

b. 空氣漏洩損失 (air-leakage loss)

보일러에供給된 燃料을 完全燃焼하기 위하여서는 調節된 空氣量이 必要하다. 보일러 케이싱(casing)에 漏洩口가 생기면 近來의 보일러는 爐內壓力이 大氣壓보다 낮으므로 外部空氣가 爐內로 滲入 들어가서 廢氣溫度까지 加熱되어 끝뚝으로 放出되는 弊端이 생긴다. 이러한 熱損失을 減少하려면 漏洩口를 定期的으로 點檢 索出하여서 閉塞하여야 한다.

c. 未燃分炭素損失 (unburned carbon loss)

灰中에 包含되어 있는 未燃燒固形炭素分에 依한 熱損失로서 우리나라 火力發電所에서 第一 比率(第4表에서 9.6%)을 차지하고 있어서 이 損失의 減少 등이 切實히 要望된다. 參考로 新規 3個 火力發電所의 灰中 炭素分을 보면 第5表와 같다.

	馬 山	唐人里 #1	三砂 #1
Bottom Ash	18.15	3.79	5.33
Collector Ash	27.40	30.28	27.70
Stack Ash	7.36	3.78	11.58

第5表 灰中炭素分(%)

이 損失을 減少시키는 問題는 그리 簡單하지 않으며 主로 使用炭質에 對한 보일러의 設計에 左右된다. 그러나 假設 發電所에 있어서는 1次, 2次, 3次 燃燒空氣量의 相互調節, 微粉炭의 粒度, 過剩空氣量, 重油混燒率의 變化 등으로 未燃分損失을 어느程度 減少시킬 수 있으며 이 運轉狀態의 變動은 他損失과도 關聯되어 있으므로 綜合損失이 最少가 되도록 그 燃料炭에 對한 最適 燃燒狀態를 嚮慕 追求하고 있다. 參考로 燃料炭의 含有灰分과 未燃分損失과의 關係式을 다음 (4)式에 表示하였다.

$$L_c = C \times \frac{A \times B \times 8.100}{(100 - B) S_w} \% \quad (4)$$

L_c : 未燃炭素에 依한 損失 %

A : 灰中 灰分 %

B : 灰中 固形炭素分 %

S_w : 石炭의 低發熱量 kcal/kg

C : 常數

(4)式에서 보면 石炭中 含有灰分의 增加는 比例的으로 未燃分損失의 增加를 招來하므로 炭質이 未燃分損失에 미치는 影響이 至大함을 알 수 있다.

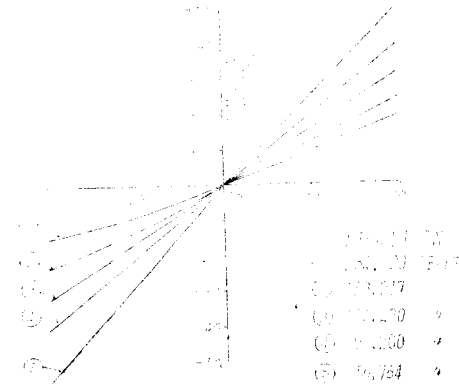
d. 埋火損失(banking loss)

深夜의 輕負荷時에는 터빈發電機의 停止에 隨伴하여 보일러로 부터 蒸氣供給도 停止된다. 完全히 消火시켜서 放置하여 自然冷却시킬 수도 있고 또는 터빈의 急速한 起動에 對備토록 運轉壓力보다 若干 낮은 蒸氣壓力으로 維持시킬 수도 있다. 이때에 蒸氣供給은 하지

않으나 壓力을 維持키 위하여서는 보일러에 燃料을 供給하여야 한다. 이 燃料供給量을 損失로 看做하여 埋火損失이라 稱하며 이 損失量은 埋火하는 보일러의 臺數, 埋火時間과 臺當 時間當 埋火燃料消費量의 곱으로 나타낸다. 이 埋火損失은 輕負荷時에 보일러 稼動臺數를 定하는데 重要한 要素가 된다. 여덟臺의 보일러가 있는 寧越 火力發電所을 例로 들면, 보일러의 負荷別 熱效率도 함께 考慮하여 輕負荷時의 熱損失이 最少가 되도록 深夜의 보일러 稼動臺數와 埋火臺數를 定하고 있다. 深夜의 輕負荷時에 全보일러를 運轉한다는 假定下에는 後述하는 incremental fuel cost를 應用하면 各 보일러에 均等하게 負荷를 配分함이 經濟的이다. 그러나 몇臺의 보일러를 埋火狀態로 두고 다른 보일러들에게 負荷를 轉移, 增加하는 便이 더욱 經濟的일 수도 있는 것이다. 또한 個個 보일러의 埋火를 決定하는 問題로 埋火損失量과 完全히 停止 消火하였다가 再起動하는 起動損失量과 比較하여 損失量이 적은 쪽을 擇하여야 한다. 이 埋火 問題는 頻繁한 停止와 起動으로 因한 보일러 및 터빈의 膨脹收縮으로 誘發되는 壽命減少도 하나의 重要한 要素가 되므로 만큼 慎重히 檢討되어야 한다.

c. 復水器 眞空(condenser vacuum)

復水器는 터빈에서 일을 마친 廢汽(exhaust steam)를 물로 還元시킨다. 發電所의 熱效率은 復水器 眞空度가 低下하면 減少한다. 新規 火力發電所의 眞空度 標準値는 2.5 inch Hg absolute인데 第1圖에서 보면 眞空度가 0.5 inch Hg 低下하면 全出力時(234,820 lb/hr, 約 25,000 kW)에 heat rate가 1% 增加한다. heat rate

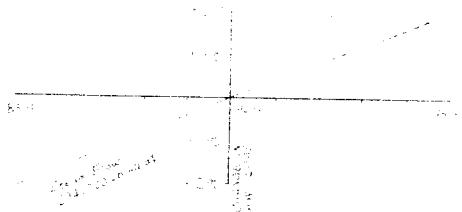
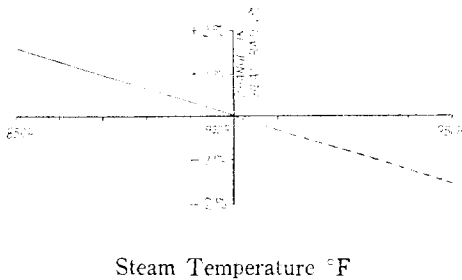


Exhaust Pressure
Inches of Mercury Absolute

第1圖 復水器 眞空度와 Heat Rate와의 關係

와 熱效率은 逆數關係이므로 heat rate의 增加는 熱效率의 減少를 意味한다. 復水器의 真空度를 維持하려면 첫째로 復水器로 들어가는 漏洩空氣量을 最少로 抑制하여야 하며, 둘째로 復水器 熱傳導面을 清潔히 하여야 한다. 清掃法으로는 고무타개(rubber plug)를 冷却管에 꽂고 壓縮空氣를 使用한 gun으로 쏘아서 튜우부內를 깨끗이 한다.

바다에 沿한 火力發電所들은 復水器內에서 貝殼類의 알이 附着 繁殖하여 復水器 機能을 低下시킬뿐 아니라 出力 減少에 이르는 事態를 間或 벗어내고 있어 이의 除去 問題가 時急하다 發電艦에서는 冷却水에 브롬칼키 投入, 馬山은 冷却水에 鹽素注入, 甘川은 heat demusselling 法, 三陟은 back washing 法 등 藥品 또는 高溫度로 貝類의 繁殖을 抑制하고 있으나 이것은 앞으로 더욱 研究하여 改善하여야 할 課題이다.



第2圖 증기온도와 出力 및 Heat Rate 와의 關係

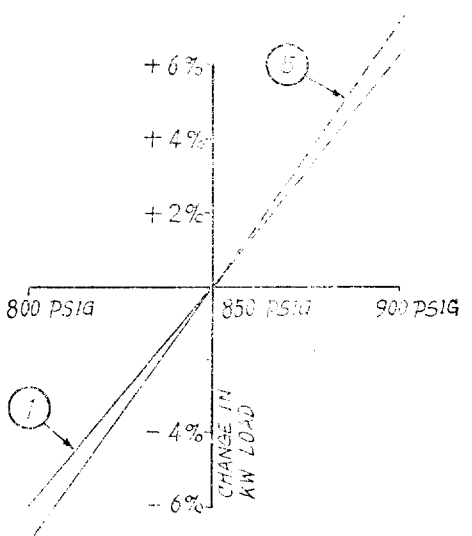
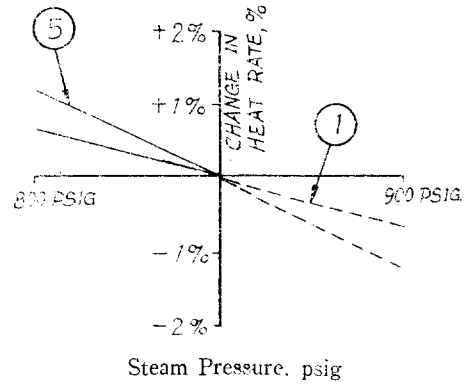
f. 蒸氣溫度 및 蒸氣壓力

蒸氣溫度와 壓力이 設計值보다 低下하면 터빈效率과 出力은 減少한다. 第2圖와 第3圖는 新規火力發電所의 蒸氣溫度와 壓力이 熱效率과 出力에 미치는 影響을 表示한 것이다. 全出力時(250,000 kW) 溫度가 50°F 減少하면 heat rate는 1.6% 增加하며 壓力이 50 psig 低下하면 heat rate는 0.6% 增加하여 熱效率이 相當히 減少

함을 알 수 있다. 이것은 보일러의 運轉條件에 左右되므로 蒸氣溫度와 壓力의 定格值 維持에 努力하여야 한다.

g. 使用石炭의 質

보일러는 使用燃料를 基準으로 하여 設計建設되어 있으나 實際로는 基準燃料만을 購入할 수 없는 것이 通例이다. 基準價보다 灰分이 많고 發熱量이 적으며, 灰의 熔融點이 낮고 總水分이 많으면 여러가지 困難을 겪게 된다. 特히 灰熔融點이 낮으면 크링커(clinker)가 發生하여 보일러의 效率低下뿐만 아니라 發電停止를 強制할 境遇가 發生하게 된다. 또한 石炭이 含有하고 있는 總水分의 量이 많으면 많을수록 이로 因한 損失(第4表에서 0.7%)이 增加한다. 含有水分의 蒸發熱量과 水蒸氣를 燃料溫度(外氣溫度)로부터 굴뚝의 廢氣溫度까지 加熱하는 熱量과의 合計가 이 損失에 該當한다. 灰



第3圖 증기압력과 出力 및 Heat Rate 와의 關係

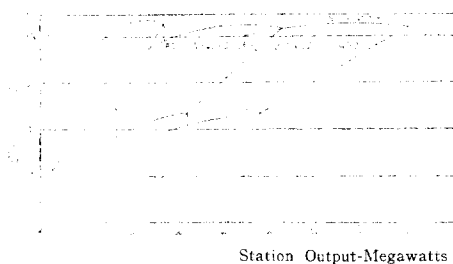
분과 未燃分損失과의 關係는 앞서 記述하였다. 以上으로 볼때에 使用燃料의 質과 效率의 聯關性이 대단히 크다는 것을 알 수 있어서 發電用으로 良質炭 確保에 努力하여야 할 것이다.

參考로 附言할 것은 最近 外國에서도 많이 使用되고 있는 bunktr coil이 우리 나라에서도 곧 生産될 것이므로 그 質과 價格如何에 따라 우리 發展所의 燃料로 使用하게 되면 發電原價에 影響이 미치게 될 것이며 이것은 希望的이고 또한 興味 있는 問題라고 生覺된다.

3. 水力發電所의 經濟的 運用

水力發電所의 經濟的發電에는 첫째로 水力 에너지가 電氣의 에너지로 變換할때의 損失을 最少로 하여 效率向上을 圖謀하여야 하고 둘째로는 같은 江줄기의 다른 發電所와 聯關시켜 流下量 등을 考慮하여 물 自體를 有效하게 利用하여야 하는 두가지 點이 있다. 各個 發電所의 效率向上은 運轉臺數에 依한 全效率의 差異, 또는 落差에 依한 水車效率의 差異等에 關聯하여 同一한 水量으로 最大의 發電量을 얻도록 하여야 할 것이다. 水車의 荷別 效率을 보면 落差에 따라 다르지만 低荷일때에 懸隔하게 減少한다. 第4圖에는 華川水力發電所의 最高落差(75 m)와 最低落差(55 m)時에 1臺運轉, 2臺運轉 및 3臺運轉時를 區分하여 荷別 使用水量當 出力을 表示하였다. 華川의 同一한 效率曲線을 가진 水車發電機가 系統에 並列로 들어가 있는 條件下에서는 後述하는 incremental loading에 依하여 同一한 出力으로 運轉하는 것이 經濟的이지만 無荷損失을 생각한다면 第4圖에서 보는 바와 같이 臺當 容量을 下廻하는 荷에서는 1臺단으로 運轉하고 다른 臺는 停止시키는 것이 有利하다. 따라서 周波數制御, 電壓制御를 하기 위하여 多數臺數를 運轉할 必要가 있는 境遇를 除外하고는 所要出力에 該當하는 運轉臺數를 損失이 最少가 되도록 決定하여야 한다.

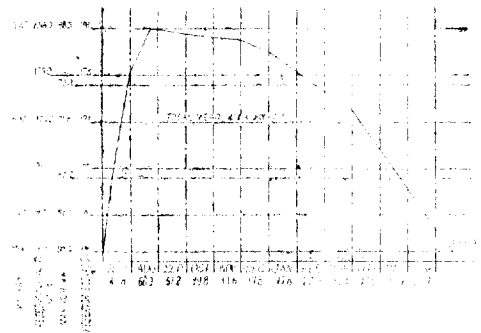
第4圖에서 보면 落差가 75 m 때에 比較하여 55 m 때



第4圖 Load Dispatching Curve for Hwahon Plant

의 使用水量 當 出力은 훨씬 低下한다 發電電力은 使用水量과 落差의 相乘積에 比例하므로 同一한 水量으로서 水位가 높은 境遇에는 더 많은 電力을 얻을 수 있다. 또한 華川과 같은 Francis型 水車는 落差變動에 따르는 水車의 效率低下가 顯著하여 되도록 高落差 運轉이 要望된다. 華川의 境遇는 100 ton/sec의 使用水量으로 滿水位 181 m에서는 65,000 kW의 發電을 할 수 있으나 低水位 156.8 m에서는 同一한 水量으로 42,000 kW 밖에 發電할 수 없다. 따라서 效率運轉과 最大出力 確保面으로는 高水位로 運轉하는 便이 有利하다. 그러나 恒常 滿水位로서 運轉한다면 豐水期에는 溢水하여 아까운 물을 浪費하게 되는 隘路가 있다. 그러므로 이 變動하는 河川流量에 應答하여 貯水池의 水量使用問題가 가장 經濟的이 되도록 定하여야 한다. 韓電이 作成한 華川水力發電所의 貯水池 水位使用 計劃曲線을 提示하면 第5圖과 같다.

先進諸國은 이 問題를 dynamic programming을 應用한 在庫管理로 다루어 電子計算機를 利用하여 解答을



第5圖 華川 水力發電所의 貯水池 水位 利用曲線

求하고 있다

以上은 主로 個個의 水力發電所 運用に 對하여 考慮하여야 할 效率運轉이지만 나아가서 同一水系에 位置한 水力發電所群의 綜合的인 經濟的 運用到 考慮하여야 한다. 現在 北漢江水系에는 華川, 淸平 두發電所만 있어서 이 問題가 比較的 單純하였으나, 앞으로 春川, 衣岩 및 昭陽江發電所가 竣工하여 稼動한다면 電力系統의 荷曲線에 應하고 同一水系의 綜合效率이 最大가 되는 經濟點에서 運轉하여야 할 것이다.

4. 經濟的 荷分配 (economy load division)

n 個의 火力發電所로 構成되는 電力系統에 있어서 各發電所의 出力을 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ 으로 하고 各發電所의 燃料費 $F_1(p_1), F_2(p_2), F_3(p_3), \dots, F_n(p_n)$ 를

出力(P)만의 函數라고 한다면 發電所 全體의 燃料費 F_T 및 負荷電力 P_T 는

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \quad (5)$$

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n \quad (6)$$

이 된다. 이때에 全 燃料費 F_T 가 最少가 되는 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ 을 求하면 가장 經濟的인 負荷配分이 되는 것이다. Lagrange 의 未定係數法으로 (5)(6)式을 풀으면

$$\frac{dF_1}{dP_1} = \frac{dF_2}{dP_2} = \frac{dF_3}{dP_3} = \dots = \frac{dF_n}{dP_n} = \lambda \quad (7)$$

이 成立되고 이때의 出力으로 發電할때에 全 燃料費 F_T 가 最少가 된다. 이 λ 는 Lagrange's Multiplier 로서 增分燃料費 (incremental fuel cost)라 稱한다. (7)式을 다시 說明하면 燃料費의 出力에 對한 1次導函數 即 incremental fuel cost 의 值가 各 發電所마다 서로 같을때에 이 電力系統이 가장 經濟的이라는 結論이 나온다. 但 (7)式은 다음의 假定이 成立할때에 限하여 成立된다.

(a) 燃料費(F) 對 出力(P) 曲線은 連續이다.

(b) 該 曲線의 1次導函數 即 incremental fuel cost 曲線도 連續이다.

(c) 出力(P)이 增加함에 따라 incremental fuel cost 도 增加한다.

λ (incremental fuel cost)가 같도록 各 發電所의 出力을 定할때에 全 燃料費가 最少가 된다는 것을 簡略하여 證明한다면 다음과 같다. 여기서는 A 와 B, 兩 發電所에 對하여 생각하자. 그러면 A 發電所의 出力과 燃料費를 P_A, F_A 라 하고 B 發電所의 出力과 燃料費를 P_B, F_B 라 하면 合計出力 P_{A+B} , 合計燃料費 F_{A+B} 는

$$P_{A+B} = P_A + P_B \quad (8)$$

$$F_{A+B} = F_A + F_B \quad (9)$$

이 된다. 여기에 F 는 P 의 函數이고 連續이며 [$F_A = f_1(P_A), F_B = f_2(P_B)$] 1次導函數 $\frac{dF_A}{dP_A}, \frac{dF_B}{dP_B}$ 가 存在하고 連續이며 P_A, P_B 가 增加함에 따라 1次導函數도 增加한다고 假定하면, 2次導函數 $\frac{d^2F_A}{dP_A^2}, \frac{d^2F_B}{dP_B^2}$ 와 이의 合計 $\frac{d^2F_A}{dP_A^2} + \frac{d^2F_B}{dP_B^2}$ 는 恒常 零보다 크다.

即 最少值가 存在한다는 것을 알 수 있다. 이에 P_{A+B} (=一定值)가 定해진 數值 아래서 F_{A+B} 의 最少條件은

$$\frac{dF_{A+B}}{dP_A} = 0 \quad (10)$$

이다. 이 式은 또한

$$\begin{aligned} \frac{dF_{A+B}}{dP_A} &= \frac{dF_A}{dP_A} + \frac{dF_B}{dP_A} \\ &= \frac{dF_A}{dP_A} + \frac{dF_B}{dP_B} \times \frac{dP_B}{dP_A} \end{aligned} \quad (11)$$

$$P_A + P_B = P_{A+B} = \text{constant} \quad (12)$$

이므로

$$\begin{aligned} \frac{dP_B}{dP_A} &= \frac{d(P_{A+B} - P_A)}{dP_A} \\ &= \frac{dP_{A+B}}{dP_A} - \frac{dP_A}{dP_A} = -1 \end{aligned} \quad (13)$$

따라서 (11), (13)에서

$$\frac{dF_{A+B}}{dP_A} = \frac{dF_A}{dP_A} - \frac{dF_B}{dP_B} \quad (14)$$

(10)을 (14)에 代入하면

$$\frac{dF_A}{dP_A} - \frac{dF_B}{dP_B} = 0 \quad (15)$$

即

$$\frac{dP_A}{dF_A} = \frac{dP_B}{dF_B} \quad (16)$$

A 와 B 發電所에 있어서 燃料費의 出力에 對한 1次導函數가 같을때 다시 말해서 2 發電所의 incremental fuel cost 가 같을 때에 經濟的이 된다. 以上으로 incremental fuel cost 에 關하여 簡單히 記述하였고 이를 production cost 에 適用하면 全 發電經費가 最少가 되는 經濟的 負荷配分出力을 各 發電所에 指示할 수 있다.

上記 (7)式에 있어서 燃料費 F 를 入力(input)으로 取換하면 增分率 (incremental rate)을 應用한 經濟的 負荷配分法은 보일러 및 水車發電機等 모든 에너지變換機에 適用시킬 수 있다. 또한 電力系統 損失과 水火力 併用問題를 incremental rate 를 適用하여 全 系統의 負荷配分을 適切히 하여 綜合發電原價가 減少하도록 꾸준히 改善하여야 할 것이다.

(1964年 3月 18日 收受)