

超臨界壓力火力發電所に 關하여

韓國電力株式會社・企劃部

技術調査課長 成 樂 正

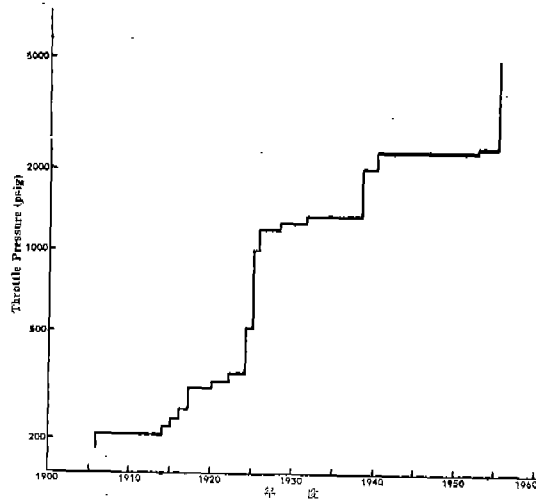
1. 序 言

汽力發電의 熱效率을 增進하기 爲하여는 蒸汽壓力과 蒸汽溫度를 높이고 condenser 壓力을 低下시킬 수 있으면 될 것이다.

condenser 壓力을 現在狀態 以上으로 低下시키는 것은 實質的으로 期待할 수 없다. 蒸汽溫度를 올리는 것은 이와 같은 高溫에 견딜 수 있는 金屬의 開發에 달려 있다고 할 수 있을 것이다. 그런데 一般的으로 高溫에 견딜 수 있는 合金은 相當히 高價가 되어서 이로 말미암아 얻을 수 있는 利得을 相殺해 버리고 만다. 그러므로 發電所 效率을 向上시키는 데 있어서 現實的으로 期待할 수 있는 것은 蒸汽壓力을 올리는 것이라고 할 수 있다. 蒸汽壓力은 第1圖에서 볼 수 있는 바와 같이 年次的으로 높아져서 現在 一般的으로 亞臨界壓力에 이르고 있으며 最近에 와서는 超臨界壓力發電所가 나타나게 되었고 大幅의 效率向上을 期待하기 爲하여는 어느 程度의 容量增大과 더불어 臨界壓力(蒸汽의 臨界狀態는 3,206psia와 705.4°F이다)의 境界를 넘어설 必要가 생기게 되었다.

美國을 爲始하여 歐美 各國에서는 1953年 以來 積極的인 調査研究을 繼續해 왔으며 最近의 研究에 依하면 超臨界域에 있어서의 蒸汽條件, 建設費, 熱效率, 發電原價 等に 걸친 廣範圍하고도 具體的인 檢討結果가 얻어지고 있으며 그 有利함이 強調되고 있다. 한 便 製造者들의 製造態勢도 確立되어 있으며 同時에 超臨界壓力發電에는 必然的으로 使用하지 않을 수 없는 貫流보이러(once-through boiler)의 運轉實績도 現在의 亞臨界域에서 어느 程度의 成果를 얻고 있으며 名實 共히 臨界壓力 突破의 機運은 成熟되고 있다고 생각된다.

超臨界壓力 發電機의 第1號機는 美國의 Philo No. 6 unit인데 이 unit는 1953년에 計劃되어 1957년부터



(第1圖) 蒸汽壓力 變化曲線

運轉開始되었으며 그 以後 最近까지 運轉開始되었거나 計劃, 建設되고 있는 것들 中 代表的인 것들을 보면 第1表와 같다.

2. Philo 發電所 第6號機

超臨界壓力 發電機의 第1號機이며 美國의 American Electric Power Co. Inc. System (AEP System)의 Ohio Power Co.가 1953년에 發注하여 GE 社와 B&W社와의 協力下에 製作되어 1957년부터 運轉開始된 것이다. 이 發電機의 計劃 當時의 研究에 依하면 實際로 採擇된 4,500psig, 1,150/1,050/1,000°F의 蒸汽條件과 3,500psig, 1,050/1,050/1,050°F의 蒸汽條件과의 사이에는 發電所의 net heat rate는 別差가 없고 容量은 大容量인 쪽이 妥當하다는 것이 알려져 있었으나 이 發電機는 超臨界壓

(第 1 表)

世界 各國의 超臨界壓力 發電機

| 國名 | 發電所의 unit番號 | 所屬會社 | unit容量 (Mw) | 蒸氣壓力 (psig) | 蒸氣溫度(°F) 入口/再熱/再熱 | Tur-bine maker | Boiler maker | 發注年 | 運轉開始年 | 設計 net eff (%) |
|--------------------|----------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------------|----------------|--------------|------|-------|----------------|
| 美 國 | Philo No. 6 | Ohio Power Co. | 125 | 4,500 | 1,150/1,050/1,000 | GE | B & W | 1953 | 1957 | 40.2 |
| | Eddystone No. 1 | Philadelphia Electric Co. | 325 | 5,000 | 1,200/1,050/1,050 | WE | CE | 1954 | 1958 | 42.6 |
| | Eddystone No. 2 | Philadelphia Electric Co. | 325 | 3,500 | 1,050/1,050/1,050 | GE | CE | 1956 | 1960 | 41.4 |
| | Avon No. 8 | Cleveland El. & Ill. Co. | 250 | 3,500 | 1,100/1,050 | WE | CE | 1956 | 1959 | 39.7 |
| | Breed No. 1 | Indiana & Mich. El. Co. | 450 | 3,500 | 1,050/1,050/1,050 | GE | B & W | 1956 | 1960 | 40.4 |
| | Philip Sporn No. 5 | Appalachian Pr. Co. | 450 | 3,500 | 1,050/1,050/1,050 | GE | B & W | 1956 | 1960 | 40.4 |
| | Hudson No. 1 | Public Service El. & G. Co. | 400 | 3,500 | 1,000/1,025/1,050 | WE | B & W | 1961 | 1965 | |
| | Bull Run No. 1 | TVA | 900 | 3,500 | 1,000/1,000 | GE | CE | 1961 | 1965 | 40.7 |
| | Bull Run No. 2 | TVA | 900 | 3,500 | 1,000/1,000 | GE | CE | 1962 | | |
| | Tanners Creek No. 4 | Indiana & Mich. El. Co. | 570 | 3,500 | 1,000/1,025/1,050 | GE | B & W | 1961 | 1964 | 40.4 |
| | Chalk Point No. 1 | Potomac El. Power Co. | 335 | 3,500 | 1,000/1,050/1,000 | GE | B & W | 1961 | 1964 | |
| | Chalk Point No. 2 | Potomac El. Power Co. | 335 | 3,500 | 1,000/1,050/1,000 | GE | B & W | 1961 | 1965 | |
| | Wagner | Baltimore G. & El. Co. | 300 | 3,500 | 1,000/1,000/1,000 | WE | | 1961 | 1966 | |
| | Sioux | Union Electric Co. | 500 | 3,500 | 1,000/1,000 | GE | B & W | 1962 | | |
| | Keystone No. 1 | Jersey Central Pr. Co. | 900 | 3,500 | 1,000/1,000 | WE | CE | 1962 | 1965 | |
| | Keystone No. 2 | Jersey Central Pr. Co. | 900 | 3,500 | 1,000/1,000 | WE | CE | 1962 | 1966 | |
| | Cardinal No. 1 | Buckeye Power Inc. | 615 | 3,500 | 1,000/1,025/1,050 | GE | B & W | 1963 | | |
| | Cardinal No. 2 | Buckeye Power Inc. | 615 | 3,500 | 1,000/1,025/1,050 | GE | B & W | 1963 | | |
| Moss Landing No. 6 | Pacific G. & El. Co. | 750 | 3,500 | 1,000/1,000 | | | 1964 | 1967 | | |
| Moss Landing No. 7 | Pacific G. & El. Co. | 750 | 3,500 | 1,000/1,000 | | | 1964 | 1968 | | |
| 英 國 | Drakelow "C" | CEGB | 375 | 3,500 | 1,100/1,050 | AEI | IC | 1960 | 1965 | |
| | Drakelow "C" | CEGB | 375 | 3,500 | 1,100/1,050 | EE | B & W | 1960 | 1965 | |
| 伊 國 | La. Spezia No. 3 | Edisonvolta S.P.A. | 600 | 3,500 | 1,000/1,025/1,050 | WE | CE | 1962 | 1966 | |
| | La. Spezia No. 4 | Edisonvolta S.P.A. | 600 | 3,500 | 1,000/1,025/1,050 | WE | B & W | 1962 | 1967 | |

力 蒸氣의 採用에 따른 未經驗의 技術的 問題를 解決하기 爲한 pioneer의 性格을 띠고 있었기 때문에 그 容量은 實驗的 意味에서 적게 125Mw로 하고 또 蒸氣條件도 經濟적으로 반드시 妥當하다고 볼 수 없는 높은 것을 採用했다고 한다.

超臨界壓力 蒸氣를 採用함에 있어서는 boiler에 있어서 過去의 drum式 boiler를 使用할 수 없고 強制 貫流式을 使用해야 한다. 이것은 超臨界壓力에서는 沸騰이 일어나지 않으며 물의 循環을 일으킬만큼의 比重의 差가 없기 때문에 給水의 壓力을 높혀서 貫流시켜야 하기 때문이다.

여기에 附隨되어 또 한가지 過去의 drum式 boiler에서는 분 수 없었던 起動用 bypass系統이 必要하게 되는 것이다. 이것은 起動時에 물과 蒸氣의 flow를 調節하기 爲해서이다. 一般的으로 貫流 boiler에서는 起動時 水管의 燒損을 막기 爲하여 적어도 定格 蒸氣量의 1/3의 給水를 boiler에 보내야 하며 그때 發生한 蒸氣는 bypass系統을 통해서 turbine을 bypass시켜 復水系統에 보낼 必要가 생긴다. 그런데 이 bypass系統에서는 高壓力의 相當量의 注水를

한번에 減壓하기 때문에 相當한 騒音을 發生하는 것과 管路에 浸蝕을 이르는 등의 問題가 있어서 각 boiler maker는 獨自의인 方法으로 解決하고자 努力하고 있다.

다음에 貫流 boiler에서 現在 가장 問題가 되고 있는 것은 給水의 純度이다. 貫流 boiler에서는 drum이나 blow-down valve가 없으므로 因하여 boiler에 들어간 給水는 그대로 過熱蒸氣로 되어 나가기 때문에 給水 中の 溶解 또는 浮遊不純物이나 金屬의 腐蝕生成物은 管內壁에 附着하든가 또는 蒸氣와 더불어 運搬되어 turbine blade에 附着되어 發電機의 性能을 損傷하고 發電機 全體의 運轉成績을 떨어뜨리게 하기 때문에 給水의 純度가 大端히 重大視되고 있다.

Philo No. 6 unit에 있어서 全溶解 固形分 75 ppb, SiO₂ 11 ppb, Fe 5 ppb, Cu 9 ppb, 溶解酸素 3 ppb와 PH 9.3~9.7의 實績으로 運轉을 하였는데도 不拘하고 運轉을 繼續함에 따라서 turbine thrust가 漸次 增加하고 thrust bearing의 金屬溫度가 制限值까지 上昇하게 되어 停止 點檢하였던 바 高壓

力 turbine의 blade와 nozzle에 相當한 量의 酸化 銅의 deposit가 發見되었고 11段째 nozzle에서는 두께 1mm에 이르게 되었다고 報告되고 있다.

3. Eddystone發電所 第1號機 및 Avon發電所 第8號機

Philo發電所 第6號機에 이어 1954년에 Philadelphia Electric Co.는 Westinghouse와 CE(Combustion Engineering Co.)와의 協力下에 Eddystone發電所 第1號機 325Mw를 世界 最高의 蒸汽條件 5,000psig, 1,200/1,050/1,050°F로 發注하여 1959년에 運轉을 開始하고 있다. 이 發電機는 當時의 材料 및 技術로써 건질 수 있는 最高溫度 1,200°F로 設計 製作되었다.

實際로 運轉에 들어가서는 當初의 計劃에 따라서 1年間은 1,150°F에서 運轉되었고 그 後에 開放 點檢하여 이 溫度에서 異狀이 없는 것이 確認된 다음에 1,200°F로 올려 現在까지 運轉을 繼續하고 있다. 蒸汽壓力로서는 1,200°F에 對해서 가장 適合한 5,000 psig가 選定되었다고 한다.

다음에 超臨界壓力 發電機의 第3號機는 美國의 The Cleveland Electric & Illuminating Co.의 Avon發電所에 建設된 250Mw 容量의 第8號機이며 이것은 1956년에 3,500psig, 1,100/1,050°F의 蒸汽條件으로 發注되어 1959年 末에 運轉에 들어간 것이다. 이 容量은 保守와 信賴性, 그리고 系統豫備容量과의 關係로부터 選定되었다고 한다. 그리고 여기서 採用된 蒸汽條件은 앞으로의 技術開發에 寄與하겠다는 會社의 方針에 依據하여 選定된 것이라고 한다.

위에서 概述한 바 있는 3個의 發電機는 pilot의 性格의 超臨界壓力 發電機들이기 때문에 經濟的인 面은 多少 犧牲되었다 하더라도 超臨界壓力 汽力發電의 技術開發에 寄與한 바는 大端히 크다고 할 수 있다.

그러나 한 便 이들과 거의 같은 時期에 經濟的인 實用機로서 技術的으로는 手段 낮은 蒸汽條件의 發電機들이 發注되었다. 即 Avon No. 8 unit와 같은 해에 Breed No. 1, Philip Sporn No. 5 및 Eddystone No. 2의 세 unit가 發注되어 모두 1960년에 運轉을 開始하고 있다. 이 중에서 Philip Sporn No. 5 unit는 Philo No. 6 unit와 같은 AEP System의 Appalachian Power Co.에 屬하고 또 Breed No. 1 unit도 같은 AEP System의 Indiana & Michigan

Electric Co.에 屬하고 있다. 이들 세 unit는 모두 같은 蒸汽條件으로서 壓力 3,500psig, 1,050/1,050/1,050°F를 採擇하고 있다. 이와 같이 溫度를 1,050°F로 한 것은 이 溫度에서는 特殊鋼의 使用量이 어느 程度 減少될 수 있어서 建設費가 低減되어 商業用 unit로서의 經濟性を 얻기 爲해서였다고 한다.

4. Breed發電所 第1號機

美國의 Indiana & Michigan Electric Co.에서는 1956年 末부터 劃期的인 Breed發電所 第1號機의 建設에 着手하고 途中 boiler와 turbine의 一部에 多少 變更을 要할 部分이 생겼기 때문에 豫定보다 約 9個月 늦게 1960年 7月 31日 無事히 營業運轉에 들어가 그 後 오늘날까지 順調롭게 稼動하고 있다.

Breed發電所는 3,250,000 lb/hr의 強制貫流式 boiler와 3,500psig, 1,050/1,050/1,050°F 2段再熱, 3,600/3,600 rpm의 cross compound型 turbine에 依한 unit容量 500Mw의 超臨界壓力 發電所이다.

火力發電所의 經濟性を 높이기 爲하여는 unit容量을 增大할 뿐만 아니라 熱效率의 實質的인 改善을 期하여야 한다. 이에 關하여는 B & W, GE 및 AEP 合同으로 開發된 Philo No. 6 unit가 이미 있었으나 Breed發電所는 그 設計技術과 運轉經驗을 基礎로 하여 前者에서는 別로 考慮하지 않았던 經濟性에도 重點을 두고 蒸汽條件은 3,500psig, 1,050/1,050/1,050°F로 選定하고 또 unit容量을 500Mw로 하여 建設한 것이다.

boiler의 性能은 豫想 以上으로 좋았고 蒸汽의 溫度와 壓力의 制御는 平常運轉時는 勿論 40Mw/min.의 率로 240Mw의 範圍의 負荷變動 中에서도 安定되었다고 한다. 暖機狀態에서의 起動은 平常運轉人員에 依하여 1時間 以內에 쉽게 할 수 있었다고 한다.

boiler 給水 pump는 全容量의 것 1臺이고 蒸汽 turbine에 依하여 稼動되고 있으며 이것은 net出力 450Mw 때 25Btu/Kwh, 500Mw 때 40Btu/Kwh만큼 發電所의 熱消費率을 低減시킨다고 한다. 이 發電所에 있어서의 平常運轉時의 水質의 制御値는 다음과 같은 것으로 報告되고 있다.

| | |
|--------|------------|
| 全固形分 | 最大 150 ppb |
| Silica | 最大 20 ppb |
| 鐵 分 | 最大 10 ppb |
| 銅 分 | 最大 5 ppb |

| | |
|----------|----------|
| 溶解酸素 | 最大 7 ppb |
| Hydrazin | 20 ppb |
| PH | 8.8~9.1 |

pilot 發電機로서의 세 unit 에 이어서 商業用으로서의 經濟性이 追求되었던 세 unit 를 합하여 6個 unit 가 運轉을 開始한 以後 美國에서는 當分間 超臨界壓力 unit 의 發注가 없었고 이들의 運轉實績을 檢討하면서 다음의 計劃을 研究하고 있었던 바 1961 年에 이르러 New Jersey 의 Public Service Electric & Gas Co. 가 Hudson No. 1 의 400Mw unit 를 Westinghouse 와 B & W 에 發注한 다음 많은 超臨界壓力 unit 가 發注, 計劃되고 있는 것은 第1表에서 볼 수 있는 바와 같다.

5. Bull Run 發電所

美國의 TVA 에서는 Tennessee 州 Oak Ridge 의 東쪽 約 5mile 地點에 Bull Run 汽力發電所를 1962 年 2月에 着工하여 1965年 末에 運轉開始할 豫定으로 있다. turbine 發電機는 GE 에 發注되었으며 定格出力 900Mw에 peak出力 950Mw이고 3,500psig, 1,000/1,000°F 蒸汽條件의 2軸, 4流排汽, 3,600/1,800 rpm turbine 과 2基 合計 1,000MVA의 發電機로 되어 있다. boiler 는 CE 에 發注되었는데 分割壁付雙爐型, 循環組合貫流式, 加壓 燃燒爐로서 主蒸汽는 3,650psig, 1,003°F에서 6,400,000 lb/hr, 再熱蒸汽는 545psig, 1,003°F에서 4,500,00 lb/hr의 仕樣으로 되어 있다. 그리고 이 發電所의 建設費는 \$133×10⁶로써 約 \$147.7/Kw로 計算된다.

이 發電機의 選定에 있어서는 두가지 問題가 있었다고 傳해진다. 그 하나는 容量이고 또 하나는 蒸汽條件이었다. 當時 TVA에서는 計劃을 合해서 500Mw 3臺와 650Mw 2臺가 工事中에 있었고 이들 unit는 어느 것이나 主蒸汽壓力 2,400psig, 汽溫 1,050/1,000°F의 亞臨界壓力 蒸汽條件이었다. 美國內와 歐州의 各 maker들로부터 見積을 받아 본 結果 容量 865Mw에서 最低價格인 GE로 決定되었고 그 後에 GE의 建議에 따라서 超臨界壓力이 採用되기에 이르렀다.

이 大容量 unit에서는 많은 新設計가 採用되고 있으며 그 中에서도 特別 補助機의 크기, 起動方法, 自動制御, 25,000MVA의 油入遮斷器의 開發 等은 括目할 만 하며 이들 設計의 特色을 列舉하면 大體로 다음과 같다.

- (1) 機械式과 電氣式의 組合 制御室.
- (2) 計算機 制御의 採用.
- (3) 計量式의 給炭機.
- (4) 給水管에 高流速을 採用.
- (5) 大容量의 蒸溜水 pump를 不要로 하는 新設計.
- (6) boiler 循環 pump에 canned-motor를 使用.
- (7) 起動用 補助 boiler.
- (8) 高壓力 給水加熱器의 傳熱管에 炭素鋼을 使用.
低壓力 給水加熱器 3段을 一體胴으로 하고 그 傳熱管에 304型 stainless 鋼을 使用.
- (9) boiler 의 最下層을 地面高로 한다.
- (10) 美國 鐵構協會 規格에 依한 ASTM 規格의 A36 鋼材를 省費에 使用하여 約 7% 材料를 節減.
- (11) 發電所 本館의 壁에 非絶緣材를 使用.
- (12) 100噸 積載 72個 車輛을 急速히 處理할 수 있는 石炭受入設備.
- (13) 높이 800ft의 煙突.
- (14) 組立式 鐵構을 使用한 낮은 開閉所.
- (15) 高壓側에 並列된 2臺의 500MVA, 22.5-16 KV FOA 變壓器.
- (16) 發電機와 變壓器 間에 prefabricated isolated phase type bus 使用.
- (17) metal cable tray.
- (18) 99%의 電氣集塵器.

이와 같은 新設計의 採用으로써 約 470萬弗의 建設費가 節減되고 또 發電所效率의 向上과 運轉費의 低減으로 發電原價의 一層의 低減이 期待되고 있다.

給水加熱器는 8段이고 高壓力 2段과 低壓力의 3段은 主 turbine 의 抽汽로 加熱되고 中間의 3段은 boiler 給水 pump 驅動用 turbine 의 抽汽로 加熱된다.

turbine 發電機는 固定子 卷線이 水冷式이고 固定子 鐵心과 回轉子는 水素冷却式이다. 2軸의 負荷配分은 3,600 rpm 軸이 50.6%, 1,800rpm 軸이 49.4%이다. peak出力 950Mw 時는 最上段의 給水加熱器가 bypass 된다.

boiler 가 貫流式인 것은 前述한 어느 경우에나 같으나 再循環을 組合한 것으로는 最初의 unit 이다. 그 特徵은 過去의 貫流式에 循環 pump 를 加해

서 起動時 및 低負荷時에 爐壁의 保護를 再循環流에 依해서 行하는 것이다.

以上 美國에 있어서의 超臨界壓力 unit 들의 蒸汽條件을 보면 當初에는 高壓力, 高溫을 指向했었고 이에 따르는 技術的 問題를 相當히 克服해 왔으나 主로 經濟的인 理由 때문에 主蒸汽壓力은 暫次 下降되어 現段階에서는 3,500 psig, 1,000°F가 採用되고 있으며 歐洲에 있어서도 類似한 傾向인 것을 볼 수 있다.

以上으로서 超臨界壓力 發電機에 對한 概括的인 紹介를 마치고 이어서 最近에 發表된 바 있는 文獻에 나타나 있는 數個 發電所를 더 紹介하고자 한다.

6. Keystone 發電所

1962年 11月 Pennsylvania-New Jersey-Maryland Interconnected System(PJM), Alleghary Power System(APS)과 Consolidated Edison 電力會社에 依하여 Keystone과 Fort Martin 두 汽力發電所와 West Virginia에서 北部 New Jersey 및 Metropolitan New York를 連結하는 600mile에 이르는 送電線의 計劃이 發表되었으며 이들 電力會社 間에서는 오랫동안 鑛山地域에 發電所를 建設하고 그 發生電力을 東部の 都市에 送電하는 問題가 考慮되어 왔다. 이 경우에 問題가 된 것은 送電費가 비싸게 된 것과 復水, 冷却用水의 入手問題이었다. 첫째 障害는 500Kv를 採用함으로써 打開되었고 第2의 問題는 補給用水의 貯水池를 並置한 自然通風 冷却塔에 依하여 解決되었다. 이 發電所의 設計는 Gilbert 社가, 그리고 建設工事는 EBASCO 社가 맡았으며 turbine 發電設備는 Westinghouse가, boiler 設備는 CE가 供給하도록 되어 있다. 이 發電所에는 900Mw 2臺가 設置될 것인데 第1號機는 1967年 5월에, 第2號機는 1年 늦게 運轉開始될 豫定이다.

蒸汽條件은 3,500psig, 1,000/1,000°F이고 두個의 復水器가 直列로 配置되어 있고 各各의 排氣壓은 900 Mw에서 1.6 Hga 와 2.2 Hga 이다. turbine 은 3,600/1,800rpm의 cross compound 型이다. 特記할 만한 것으로 調速段에는 NIVCO-10이라는 새로운 材料가 使用되고 있으며 그 良好한 高溫에 있어서의 damping 特性 때문에 過渡的인 blade 의 振動없이 低負荷에 있어서의 部分蒸汽 噴射를 採用할 수 있었다는 點이다. 瓣의 順次的인 開放 때문에 全負

荷效率을 犧牲하는 일 없이 部分負荷效率을 올릴 수 있게 되었다.

boiler 는 CE가 最近 超臨界壓力型으로서 開發한 controlled circulation 型 boiler 이고 dry bottom 의 加壓爐型이며 中央 區分壁으로 두 室로 나누어져 있다. 各 燃燒室은 거친 正方形의 斷面으로 되어 있고 各 室에 burner 函을 갖고 있으며 各 burner 函에는 8個 씩의 傾斜式 burner 를 붙이고 있다. 그리고 爐內 最大 gas 速度는 60ft/sec 以下, 爐出口의 gas 速度는 40ft/sec 以下로 設計되어 있다.

이 boiler 에서는 通常的인 貫流方式에 強制循環方式을 組合하고 있으며 高負荷時에는 節炭器에서 부터 爐壁管과 各種 過熱器管을 貫流해서 나가는 起動時와 低負荷時에는 節炭器 出口와 爐壁管 入口 間에 配置되어 있는 循環 pump 로써 爐壁水를 循環시켜 管의 加熱을 막도록 되어 있다.

7. Cardinal 發電所

美國의 Ohio 州 Brilliant에 있는 Tidd 發電所 附近 Ohio 湖畔에 Cardinal 發電所가 1963年 11月부터 建設되고 있다. 처음에는 615Mw 2臺가 建設되고 最終的으로는 3臺가 되어 約 2,000Mw 規模의 發電所가 될 豫定이다. 建設費는 $\$125 \times 10^6$ 로 豫想되고 있다. 이 發電所의 特徵은 超臨界壓力 火力으로서의 技術性 및 經濟性이 追究되고 있는 同時에 이 發電所의 所有形態가 또한 色다르다. 現在 建設中인 두 臺를 各各 한臺 씩 30個의 地方電氣協同組合의 協同體인 Buckeye Power Inc.와 Ohio 州의 主要한 電氣事業의 하나인 Ohio Power Co.가 所有하고 있다.

Cardinal 發電所의 技術的 成果는 AEP Service Corp.가 그때까지 經驗해온 超臨界壓力發電所 即 Philo No. 6, Breed, Sporn No. 5 및 Tanners Creek No. 4의 經驗에 立脚하여 形成된 것이다.

이 發電所의 建設費는 現在 計劃中인 어느 發電所보다도 싸며 그 設計上의 特徵은 아래와 같다.

- (1) 單軸, 超臨界壓力, 2段再熱 turbine과 723 MVA, 單軸 發電機의 最初의 採用.
- (2) 貫流, 微粉炭燃燒, dry bottom boiler.
- (3) 超臨界壓力 2段再熱의 蒸汽 cycle.
- (4) 새로운 交流勵磁方式.
- (5) boiler室과 重量設備의 段階 配置.
- (6) 主 cycle 의 簡單化와 設備의 複雜化.

- (7) 環境을 考慮한 825ft의 煙突.
- (8) 725MVA, 3相 主變壓器 bank.
- (9) 屋外式 構造.

이 發電所 設計에 있어서의 가장 큰 特徵은 水冷却, 723MVA 發電機를 3,600rpm의 tandem compound의 蒸汽 turbine이 驅動하고 있다는 點이다. 이와 같이 大容量의 tandem 機器의 設計는 Tanners Creek No. 4의 경우의 高壓力의 最初의 再熱部 및 第2 再熱部の 經驗이 利用되고 그 위에 세個의 double-through 排汽機構가 附加되어 있다. 이들의 機器는 어느 것이나 Tanners Creek No. 4와 같이 GE에서 製作되었다. 이들 다섯個의 turbine室과 發電機가 同軸上에 있게 됨으로써 制御機構, 配管等은 簡單化되었으나 軸의 長이가 200ft로 되었다.

超臨界壓力 貫流 boiler의 設計에 對해서는 Philo No. 6 以來 거의 事故가 없었으므로 AEP System의 어떠한 燃料도 使用할 수 있는 universal boiler를 採用하고 있다. maker는 B & W 이고 主要部分은 Tanners Creek No. 4의 cyclone boiler와 類似하나 5個의 새로운 50t/hr의 counter rotation 微粉炭機에 依하여 微粉化된 石炭을 燃燒시키는 것이 다르다. 燃料은 dry-bottom furnace에 20個의 새로운 burner에 依하여 供給되도록 되어 있다. 蒸汽條件은 Tanners Creek No. 4에서 그 合理性이 確認된 3,500psig, 1,000/1,025/1,050°F가 採用되었다.

723MVA 發電機에 必要한 3,700Kw의 直流 勵磁電力을 얻기 爲하여는 大端히 큰 低速의 gear-傳達式 勵磁機를 必要로 하나 이것은 實現 不可能하다. 그래서 120C/S의 交流 發電機를 主軸에 直結시켜 主軸의 힘을 靜止한 裝置로써 整流하는데 利用하도록 하였다. 이 結果 勵磁機의 크기는 大端히 적게 할 수가 있었으나 이 생각은 더욱 큰 容量機에도 適用될 수 있고 또 整流器를 軸上에 組立할 수가 있으면 今後 單軸의 規模를 擴大하는데 있어 勵磁의 問題는 아무 障害도 안될 것이다.

Breed와 Philip Sporn No. 5에서는 gas가 上昇해 가도록 製作되어 있고 그 때문에 boiler室의 上部에 再熱空氣加熱器, forced draft fan, 再循環 gas fan 등의 무거운 回轉機器類가 모두 附設되어 있다. 따라서 支持鋼材의 價格을 비싸게 하고 運轉上에 있어서도 不滿足한 點이 있었다. 그런데 Cardinal에서는 gas는 上昇했다가 橫斷하고 下降하도록 配置되어 있어서 fan이나 무거운 tubular 空氣加熱器

類는 段階의인 位置에 堅固하게 製作된 mat上에 配置하게 되어 있다.

給水 pump는 全 unit에 對해서 1臺이고 turbine 驅動式이다. 그리고 主運轉室의 바닥 위에 設備되어 있는 모든 機器는 덮혀 있지만 boiler의 上半部, 支持鐵骨, 空氣加熱器 等은 屋外式이다. 새로운 屋外構造가 여기서 採用되고 있다. 이것은 初期投資의 節減과 惡天候 下에서의 運轉上의 問題를 같이 解決하도록 한 것이다.

위에서 말한 바와 같은 技術的 成果에 依해서 Cardinal 發電所의 建設費는 \$100/Kw 以下가 될 것이 期待되고 있으며 또 燃料費는 平均 送電端價格으로 \$17/10⁶Btu 以下가 될 것으로 豫想된다.

8. Moss Landing 發電所

美國의 Pacific Gas & Electric Co.의 Moss Landing 發電所에 750Mw 超臨界壓力 發電機 두臺의 建設이 當 發電所의 擴張工事의 一環으로서 推進되고 있다. 只今 計劃으로서는 이들 發電機는 1967年 3月과 1968年 7月에 運轉開始한 것으로 되어 있다.

Moss Landing 發電所 擴張에는 發電所에 \$132×10⁶과 500Kv 送電線에 \$33.3×10⁶이 所要될 것이다. 이 發電所는 San Francisco 南쪽 約 80mile 地點 Monterey 灣에 位置하고 있다.

既設 330Mw cross-compound turbine 發電機는 3,600rpm의 高壓力軸과 3,600rpm의 中壓力軸을 갖고 있다. 그런데 太平洋으로부터의 찬 冷却水에 依하여 얻을 수 있는 낮은 排汽壓과 이들 大容量機에 있어서의 排汽損失을 最少로 하는 것이 重要하다는 見地에서 3,600/1,800rpm의 經濟的인 選擇을 하였다. turbine은 主蒸汽條件 3,500psig, 1,000/1,000°F에서 704.5Mw이다. 그러나 이들은 繼續的인 5%의 過壓(3,675psig) 下에서 運轉되어 750Mw(net 740Mw)를 發電할 수 있도록 設計되어 있다.

이것은 世界 最大의 gas와 기름 燃燒式 貫流 boiler이다. 이 boiler의 定格은 過熱器 出口에서 3,830psig, 1,005°F로 5,100,000 pph이고 再熱段에서 4,200,000 pph이다.

9. 超臨界壓力 發電機의 經濟性

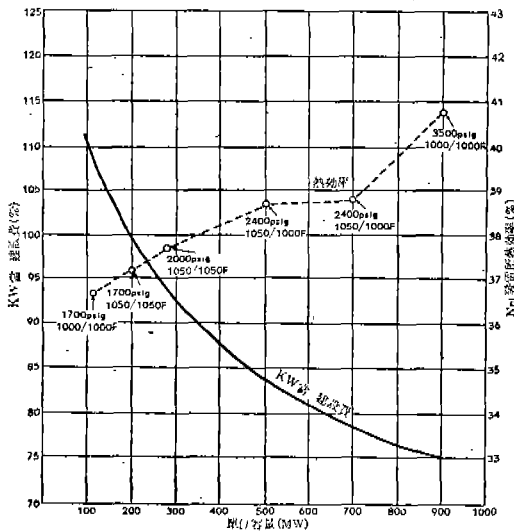
超臨界壓力 發電機는 同容量의 亞臨界壓力 發電機보다 熱消費率이 低減되어 燃料費를 節減시킬 수

있으나 그 建設費가 上昇하기 때문에 燃料費의 節減이 어느 程度 相殺되어 버리고 만다.

經濟性에 크게 影響을 주는 것은 熱效率과 建設費 그리고 燃料價格과 負荷率이기 때문에 普遍的으로 經濟性을 論하기는 至極히 困難하다.

超臨界壓力 unit 의 熱效率과 亞臨界壓力 unit 의 그것과를 比較한 例로서는 伊太利에서 發注된 La Spezia 發電所의 No. 3 및 No. 4 unit 600Mw, 3,500psig, 1,000/1,025/1,050°F 와 同發電所 No. 1 및 No. 2 unit 320Mw 2,400psig, 1,050/1,000°F 와 比較해서 蒸汽條件의 向上과 容量 增大로서 熱消費率이 約 125Kcal/Kwh 減少하는 것으로 되어 있고 TVA 에서는 第2圖에서 보는 바와 같이 500Mw, 2,400psig, 1,050/1,000°F unit 의 發電所 net 熱效率은 38.6%에 對하여 900Mw의 3,500psig, 1,000/1,000°F 에서는 40.7%로 되어 約 110Kcal/Kwh 減少하는 것으로 보고 있으며 이 중에서 畚은 容量 增大에 依한 것이라고 말하고 있다. 參考로 美國에 있어서의 unit 別 熱消費率의 狀況을 보면 第2表에서 보는 바와 같다.

한 便 建設費에 對해서는 이 TVA 의 900Mw unit 의 경우 亞臨界壓力의 500Mw unit 보다 約 10% 少했다고 報告되고 있다. 이것은 容量 增大의 結果



(第2圖) TVA에 있어서의 發電所建設費의 傾向과 net 發電所熱效率의 變化 (G. D. Wessenaner 報告)

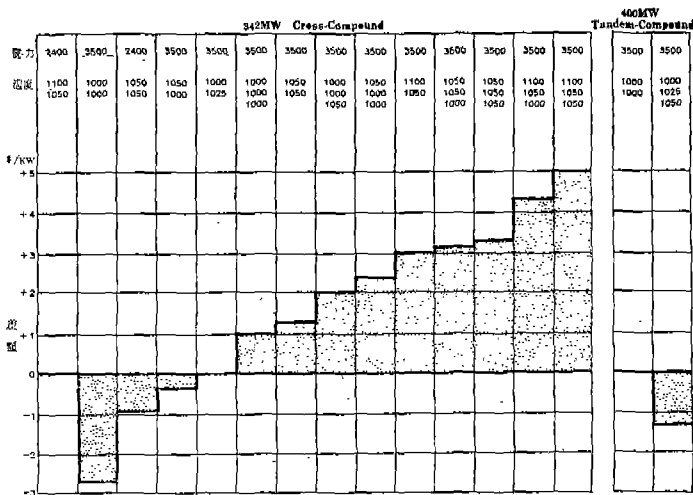
이고 TVA의 經驗에서 보면 unit 容量의 增大에 依하여 第2圖에서와 같이 建設費가 低減된다고 한다. 이 TVA 의 傾向에 依하면 500Mw 의 亞臨界壓力

unit 와 900Mw 의 超臨界壓力 unit 를 比較하면 900 Mw 쪽이 熱效率도 좋고 建設費도 싸므로 當然히 超臨界壓力 unit 쪽이 有利하게 되었다고만 말하고 있으며 900Mw 亞臨界壓力 unit 와의 比較는 없다.

(第2表) unit 別 熱消費率 (年間稼働率 50%以上)

| unit 名 | 熱消費率 (送電端) Btu/kwh | 蒸汽條件 |
|-------------------|--------------------|-----------------------------|
| Eddystone No.1 | 8,743 | 5,000psi 1,200/1,050/1,050F |
| Eddystone No.2 | 8,773 | 3,500psi 1,050/1,050/1,050F |
| Breed No.1 | 8,819 | 3,500psi 1,050/1,050/1,050F |
| Dickerson No.2 | 8,942 | 2,400psi 1,050/1,000F |
| State Line No.3 | 9,066 | 2,000psi 1,050/1,050F |
| Dickerson No.1 | 9,069 | 2,400psi 1,050/1,000F |
| Waukegan No.7 | 9,070 | 2,000psi 1,050/1,000F |
| Clifty Creek No.4 | 9,108 | 2,000psi 1,050/1,000F |
| Clifty Creek No.6 | 9,148 | 2,000psi 1,050/1,000F |
| Kyger Creek No.1 | 9,152 | 2,000psi 1,050/1,000F |
| Clifty Creek No.5 | 9,154 | 2,000psi 1,050/1,000F |
| South Oak No.1 | 9,175 | 2,400psi 1,050/1,000F |
| Clifty Creek No.3 | 9,183 | 2,000psi 1,050/1,000F |
| Segco No.2 | 9,185 | 2,000psi 1,000/1,000F |
| Gallatin No.3 | 9,190 | 2,000psi 1,050/1,050F |
| Danskammer No.3 | 9,194 | 2,400psi 1,050/1,000F |
| Clifty Creek No.1 | 9,199 | 2,000psi 1,050/1,000F |
| Will County No.3 | 9,207 | 2,000psi 1,050/1,000F |
| Clifty Creek No.2 | 9,219 | 2,000psi 1,050/1,000F |
| Gallatin No.4 | 9,230 | 2,000psi 1,050/1,050F |
| Bay Shore No.1 | 9,237 | 2,000psi 1,050/1,000F |
| John Sevier No.1 | 9,250 | 1,800psi 1,050/1,050F |
| Delaware No.7 | 9,254 | 1,800psi 1,000/1,000F |
| Segco No.1 | 9,261 | 2,000psi 1,000/1,000F |
| Joliet No.6 | 9,267 | 2,000psi 1,050/1,000F |

지금까지 運轉을 開始한 壓力과 溫度가 높은 超臨界壓力 unit 의 경우를 보면 반드시 經濟的으로는 되어 있지 않으며 특히 가장 壓力과 溫度가 높은 Keystone No. 1 unit 의 경우에는 試作 研究的인 면도 있어서 建設費는 相當히 高價이며 約 \$238/Kw 이고 그 중에서 boiler, turbine 等の 主機 價格이 \$166/Kw 였다고 한다.



(第3圖) 各種 蒸氣條件에 依한 資本化費의 差額 試算例

또 Breed No. 1 unit 의 경우에는 建設費가 \$ 144/Kw 이었으며 이 unit 가 建設되었던 1960年 頃의 一般 平均 建設費가 400Mw 程度에서 \$ 125/Kw 였던 것에 比한다면 多少 高價이다.

이와 같은 各 unit 別의 實例 外에 一般的인 傾向을 論述한 Public Service 의 Barker 氏의 發表에 依하면 342Mw 의 cross-compound unit 를 對象으로 하여 各種의 蒸氣條件에 對해서 그 建設費와 運轉費의 資本化한 值의 合計를 第3圖와 같이 比較圖로 表示하고 있다. 그 結果 Public Service社에서는 2,400psig, 1,100°F 의 蒸氣條件을 採用해 왔었던 것에 對하여 새로운 unit 에서는 3,500psig, 1,000°F 로 했다고 說明하고 있다. 이 그림에 依하면 cross-compound 의 342Mw 에서 2,400psig, 1,100/1,050°F 와 3,500psig, 1,000/1,000°F 에서는 後者が \$ 2.7/Kw 만큼 싸지며 또 tandem-compound 의 400Mw unit 에서는 3,500psig, 1,000/1,000°F 에 對해서 1,000/1,025/1,050°F 下에서 \$ 1.3/Kw 만큼 싸지는 것으로 表示되어 있다. 이 \$ 2.7/Kw 의 低下 理由는 主蒸氣溫度 低下에 따르는 建設費 低下에 있고 \$ 1.3/Kw 低下는 大體로 熱消費率 減少에 따르는 燃料費의 低下에 依한 것이라고 說明하고 있다.

10. 結 言

美國에서 처음으로 超臨界壓力 unit 가 計劃되고 運轉되었을 當時에는 超臨界壓力 蒸氣의 採用에 多少의 問題가 있었으나 現在에 와서는 技術的으로는 거의 解決되었고 또 主蒸氣溫度를 1,000°F 로 함으

로써 經濟的으로 比較的 容易하게 超臨界壓力 蒸氣를 採用할 수 있는 段階에 이르렀다고 할 수 있다. 即 이와 같은 超臨界壓力 unit 는 이미 試作的 研究段階를 지나서 實用段階에 들어서고 있으며 亞臨界壓力 unit 보다 技術的으로나 經濟的으로나 優秀하다는 點이 明確해 지고 있다.

따라서 元來 開發을 始作하였던 美國에서는 勿論이고 英國, 伊太利, 西獨 等 諸國에서 開發 發展되고 있으며 最近에는 日本에서도 計劃되고 있는 것으로 報告되고 있다.

그러나 우리 나라에 있어서는 unit 容量 關係로 近年內에 採用하게 되지는 못할 것이나 約 300Mw 單位容量機를 建設할 수 있을 時期에는 우리 나라에 있어서도 超臨界壓力의 境界를 넘어설 必要가 있게 될 것이다. 그러므로 우리 나라에 있어서도 이 方面에 關心을 갖고 調查研究를 게을리하지 말아야 할 것이다.

日本の 原子力發電所 第 2 號

<容量 325 Mw · 建設費 320億圓>

日本原子力發電株式會社는 昨年 11月에 電氣 出力 16萬6千Kw의 東海(Tokai)發電所의 商業 發電 開始로서 日本 電氣事業史에 劃期的인 新段階를 맞이한 바 있거니와 繼續하여 第2號 原子力發電所 建設을 推進하고 있다.

即 福井(Fukui)縣 敦賀(Tsuruga)에 建設될 이 發電所는 電氣出力 32萬5千Kw, 1966年 1月에 着工하여 45個月 內에 竣工될 豫定인데 原子爐는 BWR型(GE製)을 採擇하기로 決定되었다.

建設費 總豫算은 日貨 320億圓(約 8,900萬弗)이며 Kw當 發電原價는 初年度에는 3.10圓이나 20年內에 2.60圓으로 下落될 것으로 見積하고 있다. 그 平均値를 在來式 火力發電所의 發電原價와 比較하면 石炭燃燒 發電所보다는 若干 싸고 燃料油燃燒 大容量發電所보다는 若干 비싸다는 結論이 나온다. 이에 對하여 Calder Hall型 原子爐를 設置한 原子力發電所 第1號 東海發電所의 發電原價는 4.50~4.60圓으로 되어 있다.

(海)(外)(消)(息)