

發電設備에 있어서의 自動制御 및 計裝設備의 現況과 展望

曹 秉 旭

目 次

- I. 概 況
- II. 變遷過程
 - (1) 보일러自動制御
 - (2) 터빈發電機 監視裝置
 - (3) ACTUATOR
- III. 制御系統
 - (1) 연료제어
 - (2) 급수제어
 - (3) 연소제어
 - (4) 과열증기 및 재열증기의 온도제어
- IV. 展 望
- V. 結 論

I. 概 況

水力, 汽力, 內燃, 原子力發電設備中 施設容量으로 보나 發電所 基數로 보나 우리나라에서는 汽力發電設備가 그 大部分을 차지하고 있습니다. 이중 自動制御設備가 가장 많이 活用되고 있는 보일러의 燃料制御(Fuel Control), 給水制御(Feed water Control), 燃燒制御(Combustion Control), 蒸汽溫度制御(Steam temperature Control) 系統等은 1956年度에 建設된 唐人里火力(現, 서울火力) 3號機, 馬山火力 1, 2號機, 三陟火力 1號機에 처음으로 導入되어서 우리나라 發電界에 實用化되어 當時 朝鮮電業(株)(韓國電力으로 1961年度에 統合되기 前年 發電, 送電業務를 擔當)에서 選拔된 新規火力發電所 要員이 美國에 가서 訓練을 받고 돌아와 우리나라 發電分野의 開拓者 役割을 하였습니다. 이중 김규은氏(現코리아카이자 엔지니어링 전무), 임세영氏, 김영희氏 等과 그후 김영수氏(在美, Bechtel 근무), 최만형氏(東方電子産業, 會長), 정희주氏(韓電仁川火力發電所 所長), 정보현氏(韓電古里原子力發電所 社長), 기우봉氏(現代重工業 常務)……等이 主軸

이 되어 後輩를 養成했습니다.

그때도 이 分野의 技術職人員이 不足했었습니다. 김영수氏가 三陟發電所에서 다른 곳으로 轉勤되었을 때, 三陟에 支援出張가서 當時 馬山發電所에 勤務하던 최만형氏를 처음 만났던 것이 因緣이 되어 요즘에도 만나면 꼭 반가워합니다.

II. 變遷過程

(1) 보일러 自動制御(A.B.C- Automatic Boiler Control)

唐人里, 馬山, 三陟發電所의 單位容量 25 μ W 四基 設置 以後에도 美國, 日本에서 購入設置한 發電所의 自動制御系統은 大部分이 壓縮空氣制御方式(Pneumatic Control System)으로 Republic Flow Meter社, Bailey meter社, Beckman社 製品等이 設置되었으며 유럽 地域에서 供給된 新寧越發電所에는 Siemens社의 電磁式(Electromagnetic) 制御方式, 湖南火力, 仁川火力 3, 4號機에는 Bailey-France社(佛)의 電子式(Electronic) 制御方式이, 麗水火力, 嶺南火力 二號機 蔚山火力 4, 5, 6號機 等에는 Hartman & Braun社(西獨)의 電子式(Electronic) 制御方式이 各各 設置되어 있습니다.

開發過程을 보면 美國에서는 壓縮空氣式(Pneumatic) 制御方式을 開發하여 補給해 왔으며,

유럽의 佛蘭西와 같은 나라에서는 처음에는 美國에서 壓縮空氣式을 技術提携로 導入하였다가, 美國보다 앞서 電子式(Electronic) 制御方式으로 自體 開發해 나가고 있으며,

西獨에서는 처음부터 電磁式(Electromagnetic) 制御方式을 開發하였다가 亦是 電子式 制御方式으로 發展해 나가고 있어, 最近에는 發電所가 大型化되가고 電子工

業도 發達됨에 따라 모두 電子式制御方式을 製作供給하고 있습니다.

우리나라에서 技術提携 또는 導入時에는 이러한 點에 留意해야 할 것입니다.

測定計器 類中, 發電所에서도 가장 많이 쓰는 溫度計 壓力計 等은 大部分이 發電所 建設時 機器에 附着되어 導入되고 있는 實情입니다. 本人이 外國人 合資投資會社에 勤務時, 發電所 建設後에 保修用 壓力計 輸入이 問題가 되어, 約 6年前 外國人 技師를 友進計器工場에 案内한적이 있었습니다. 그도 製作過程을 보고는 國產計器 購入使用에 積極 協助했었습니다.

國內에서 生産되는 좋은 製品은 外國製보다 그리 멀어지지 않으나, 機器를 購入使用하는 會社의 規程 또는 購買方針에 따라, 品質 좋은 製品은 계값 주고는 사기 어려워 싼값에 質이 나쁜것을 쓰는데서오는 國產品에 대한 惡評이 大端한 것으로 알고 있습니다. 지금 溫度計, 壓力計 等은 價도 많이 向上되어 있을 뿐만 아니라 상당량 輸出하고 있는 것으로 알고 있습니다.

(2) 터빈發電機 監視裝置(Supervisory Instrument)

主로 터빈發電機 製作者가 主機器와 같이 供給하고 있으며, 앞으로 국내 터빈發電機가 製作供給되는 初期에는 技術提携先에서 導入될지라도 어느 程度 軌道에 올라가면 國內製作이 可能해질 것이며, 以前單獨開發은 市場性 等 어려운점이 많이 있습니다. 이 裝置中 아래와 같은 重要한 計器가 터빈發電機를 保護하기 爲하여 設置되어 있습니다.

(가) 振動記錄計(Vibration Recorder)

터빈發電機軸의 各 베어링의 振動을 測定, 指示, 記錄하여 限界值를 超過하면 警鐘을 울려 運轉員으로 하여금 適切한 措置를 取할 수 있도록 알려 주며 發電機에 따라서는 負荷를 遮斷하도록 되어 있는곳도 있습니다.

(나) 터빈케이스 膨脹記錄計(Casing Expansion Recorder)

(다) 差等膨脹記錄計(Differential Expansion Recorder)

터빈 Casing과 Rotor가 負荷變動에 따라 그 膨脹速度가 서로 다른데 터빈 날개(Blade)와 Diaphragm 사이에 간격은 좁아 膨脹이 달라지면 回轉部分과 固定部分이 서로 닿게되므로 差等膨脹을 監視하며 安全하게 運轉할 수 있도록 하고 있습니다.

(라) 軸 偏心記錄計(Eccentricity Recorder)

(마) 터빈 케이스 內外壁 溫度計

터빈의 使用 蒸汽壓力이 높아짐에 따라 터빈 케이스도 두꺼워져 케이스 內外壁의 溫度差가 커지면 應力을

받아 CRACK이 생기기 쉬우므로 이를 防止하고, 이것을 利用하여 自動負荷變動速度도 調節할 수 있습니다.

(3) ACTUATOR

壓縮空氣式 制御方式에서는 壓縮空氣를 쓰는 Control valve나 damper drive unit를 쓰며, Electro-magnetic 또는 Electronic control system에서는 主로 電氣式으로 電動機로 Valve나 damper를 動作시키는 方式을 많이 쓰고 있습니다만 一部 電子式에서도 必要에 따라서는 Electric control signal을 Pneumatic control signal로 바꾸어 壓縮空氣로 動作하는 Control valve나 damper drive unit를 쓰기도 합니다.

우리나라 發電所의 Valve나 Damper drive unit는 美國에서 購入한 것은 大部分이 壓縮空氣方式으로 되어 있으며 유럽 特히 西獨에서 導入된 것은 電氣式을 많이 쓰고 있으며, 日本에서 들여온 것은 主機器 製作者의 技術提携先에 따라 壓縮空氣式 또는 電氣式이 쓰이고 있습니다.

國內에서는 市場性이 없어서인지 다른 分野에 비해 이 drive unit를 設計, 製作하는 分野가 썩 뒤져 있습니다만, 市場이 넓어지고 關聯工業이 綜合적으로 水準이 높아지면 自然 向上될 機會가 오리라고 믿습니다. 좀 다른 얘기 입니다만, 發電所에서 勤務할때, 보일러 酸洗淨(Acid Cleaning)過程에서 流量計(flow meter)가 急히 必要하여 國內에서 찾았으나 求할수가 없었습니다. 主로 都市 上水道用을 製作할뿐 當時 必要로 했던 仕樣에 맞는 計器는 없었으며, 外國에서도, 供給期間, 價格 等이 안맞아, 結局 發電所 自體에서 設計 製作해서 使用한적이 있었습니다. 唯만한 것은 技術적으로 解結된다. 하더라도 商品化하기 위해서는 市場이 確保되지 않으면 製作, 生産하지 않을 것이며 따라서 輸出이라던가 積極的인 國產化 政策으로 市場을 넓혀 이 分野도 實質적으로 養成해야 할 것 입니다.

III. 制御系統(Control System)

汽力發電所의 自動制御 및 計裝設備를 系統別로 大別하면,

① 보일러 自動制御系統, (Automatic Boiler Control System, 略하여 ABC라고도 함)

② 復水 및 給水制御系統, (Condensate and feed water Control system)

③ 터빈發電機 監視裝置, (Turbine-Generator Supervisory Instrument)

④ Data logger

등으로 볼 수 있습니다. 이중 가장 많이 쓰이며 重 要한 보일러 自動制御系에 對하여 紹介하고자 합니다.

Automatic Boiler Control System은 前述한 바와 같이 ① Fuel control system, ② Feed water Control System, ③ Combustion Control System, ④ Main Steam and Reheat Steam temperature Control System 등이 중요한 제어계통으로 되어 있습니다. 각 제어계통을 설명하기 전에 기력발전계통을 간략하게 표시해 보면 아래 그림 1과 같습니다.

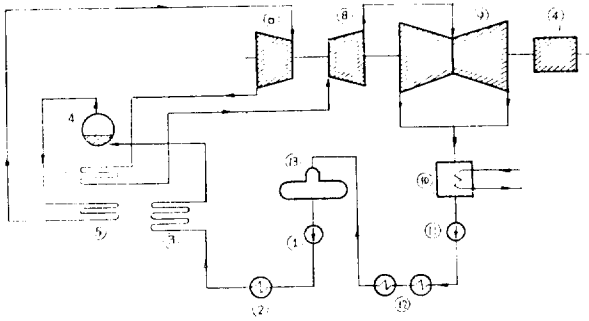


그림 1.

- ① 給水펌프(Feed water pump)
 - ② 高壓給水加熱器(High pressure feed water heater)
 - ③ 節炭器(Economizer)
 - ④ 蒸汽드럼(Steam Drum)
 - ⑤ 過熱器(Superheater)
 - ⑥ 高壓터빈(High pressure turbine)
 - ⑦ 再熱器(Reheater)
 - ⑧ 中壓터빈(Intermediate pressure turbine)
 - ⑨ 低壓터빈(Low pressure Turbine)
 - ⑩ 復水器(Condenser)
 - ⑪ 復水펌프(Condensate pump)
 - ⑫ 低壓給水加熱器(Low pressure feedwater heater)
 - ⑬ 脫氣器(Deaerator)
 - ⑭ 發電機
- (1) 연료제어(Fuel Control System)

보일러의 負荷는 터빈으로 가는 증기유량으로 볼 수 가 있는데 발전기의 출력의 증감에 따라 초기유량도 이에 맞추어 調節해 주기 위해 보일러 연료를 조절하여야 한다. 이때 터빈으로 보내는 증기의 압력, 온도는 물론 定格值를 유지해 주어야만 한다.

그림 2,에서 발전기 출력이 증가하면 먼저 주증기량 위 증가하여 Controller R.에 入力信號를 보내 연료 공급을 증가시켜주는 方向으로 Control signal을 보

내게 된다. 이렇게 하여 주증기량이 증가한만치 연료 공급이 증가했으면 평형상태를 유지하여 운전되나, 연료공급 증가분이 모자라면 보일러에서 공급하는 증기량보다 터빈이 소요하는 증기량이 많아져 Steam drum 의 증기압력이 낮아져 ⑨에서의 入力信號에 의하여 Controller R은 연료를 더 증가시키는 方向으로 Control Signal을 보내 연료공급량을 조절(증가)하게 된다

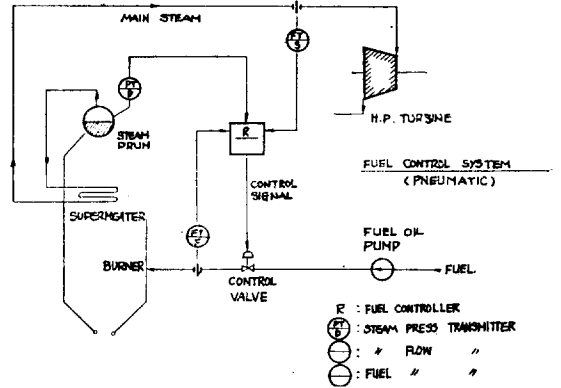


그림 2.

서울화력 3호기, 마산 1,2호기 및 삼척 1호기에 설치된 것은 이보다 간단한 것으로 주로 壓力에 의하여 조절되며 Steam flow에 依한 入力信號는 부하변동시 미분동작(Differential action)으로만 Controller에 入力を 주도록 되어 있어 前述한 증가량과 연료량을 평형을 시키고 드럼 壓力信號를 적분동작으로 쓰는 제어 계 보다는 그 동작특성이 뒤진다.

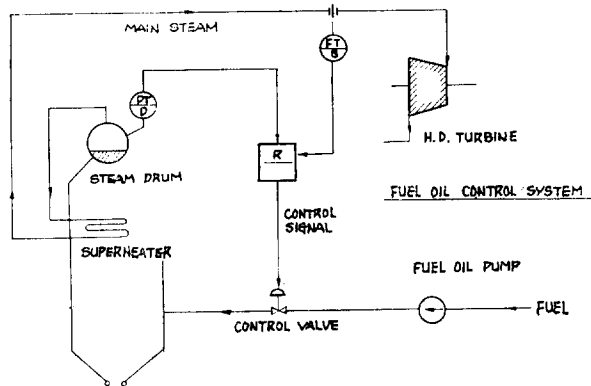


그림 3.

최근 우리나라에 많이 건설되었고 되고있는 貫流式 (once through type) 보일러에는 Steam Drum이 없으므로 壓力信號는 직접 주증기에서 따서쓰며 動作方式은 大同小異하다(그림 4 參照)

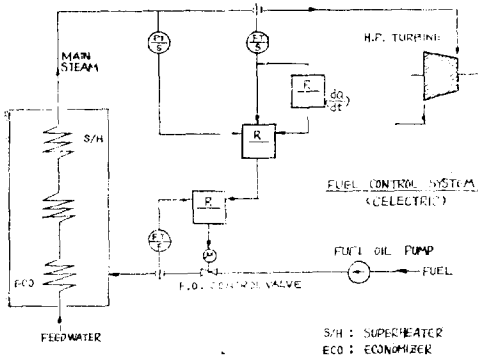


그림 4.

(2) 급수제어(Feed water Control System)

Steam drum型 Boiler에서는 이 제어계통은 Drum Level Control System이라고도 하여 Drum Level, main steam flow와 Feed water flow의 3가지 요소로 급수량(Feed water flow)를 조절하여 Drum 수위를 일정히 유지한다. Steam flow와는 Feed water Flow 서로 比較하여 比例動作으로 作用하여 제어특성을 향상시키고 있으며 수위 입력은 적분동작으로 작용시켜 Off-Set을 줄여준다. 여기에 덧붙여 Steam flow를 미분동작으로 작용케 하여 부하변동특성을 향상시키기도 한다.

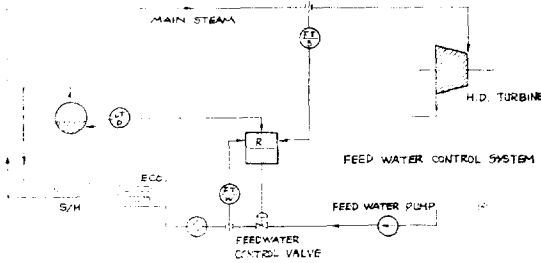


그림 5.

관류보일러(once through boiler)에는 Steam drum이 없으므로 증기유량과 급수량의 차이가 생기면 초증기의 온도가 민감하게 변동한다. 그래도 급수 조절을 그림 6.에서와 같이 초증기유량, 급수유량과 1차 과열기출기의 증기온도로 급수량을 제어한다.

(3) 연소제어(Combustion Control System)

보일러의 연소제어는 공급연료를 완전히 연소시킬만큼의 연소용 공기를 공급하여 연소효율을 높인다. 보일러 출력에 따라 연료제어기(Fuel controller)에서 보

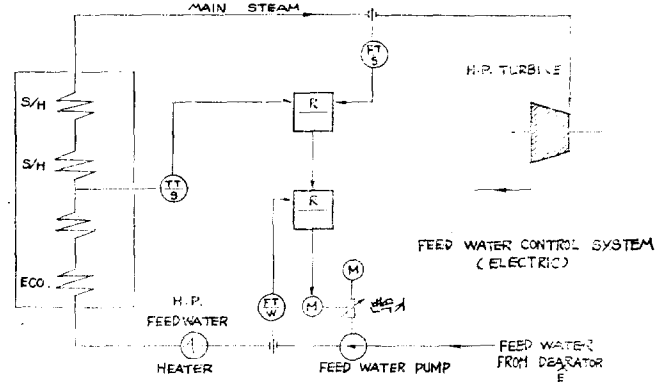


그림 6.

내는 Control signal은 Fuel control valve로 보냄과 동시에 Air controller로 보내, 적절한 연소공기를 공급하도록 Air damper를 조절한다. 이때에 必要한 공기량이 연료공급량에 비해 너무 많으면, air Controller는 미리 설정해 놓은 공기량과 같아질 때까지 air damper를 막아 공기량을 줄이게 된다.

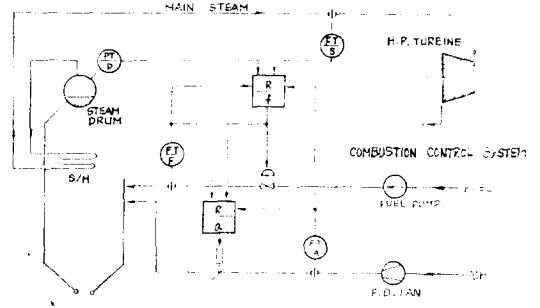


그림 7.

터빈 출력이 증가하여 Fuel controller가 동작하여 Fuel control valve를 열때, 연료량만 증가하고, 공기량증가는 미처 못 따라가 연소상태가 나빠지지 않도록 Fuel controller는 Fuel flow와 Air flow를 비교하여 Fuel 공급량을 조절한다.

따라서 연소제어계통은 부하가 증가할때는 연소용공기가 먼저 증가하여야만 비로서 연료유량도 증가하게 되며, 반대로 부하가 감소할때는 연료가 먼저 준 다음에 공기량도 줄여준다.

(4) 과열증기 및 재열증기의 온도제어(Main steam/reheat steam temperature Control)

터빈을 높은 효율로 운전하려면 보일러 출구 증기온

도를 정격으로 一定하게 유지해야 한다. 온도는 2차과열기(Secondary superheater)전에 급수를 분사하여 조절한다.

재열기의 온도제어도 재열기전에 저온재열증기(cold reheat steam)에 급수를 분사하는데 재열증기의 압력이 낮으므로 급수펌프 중간단에서 공급하게 된다.

물을 증기에 분사하는 과열제감기(Desuperheater/attenuator)를 2차적으로 사용하고, 일차로 하나의 분사각도를 상하로 조정하여 화염의 위치를 조절하는 방법도 쓰고 있다.

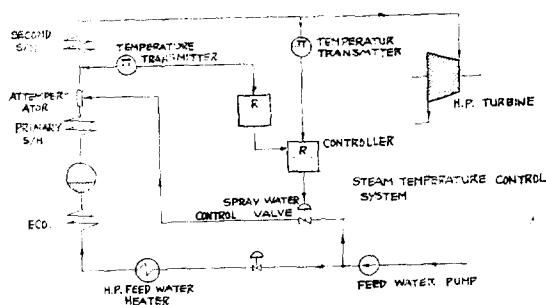


그림 8.

IV. 展 望

앞으로發電所의 基本設計와 細部設計가 國內技術用役會社에 의하여 全面 實施되게 되며, 于先 數의 으로 가장 많은 溫度計, 壓力計는 國內 生産品을 使用하게 될 것입니다. 이때 반드시 使用者의 協調가 있어야 합니다.

其他 特殊計器, O₂ 分析測定記錄計, 差壓傳送器(Differential Pressure transmitter), 等 需要가 많지 않은 品種은 製作에 時間이 要할 것입니다.

보일러의 自動制御系統에 쓰이는 制御器(Controllor/Regulator)類는 國內 大型 보일러製作會社가 設立되었으므로 그 보일러에 맞는 制御系統으로 養成토록 적극 支援해야 할 것입니다. 보일러의 自動制御는 사람이 보일러를 運轉하는 代身에 自動制御機器를 使用하는 것이므로 반드시 보일러運轉에 要求되는 條件으로 自動制御系統이 選擇 開發되어야 합니다.

機器 種類의 選擇에는 새로운 것 보다는 現在 우리나라에 導入된 것으로 하는 것이 運轉, 保修, Spare part確保, 技術要員 訓練, 確保에 큰 도움이 될 것이므로 現在 設置된 電子式, 電氣式 中에서 擇하는 것이 바람직 합니다.

Actuator 部分은 크게 壓縮空氣式과 電氣式 2種中 어느 한가지만을 쓰기가 어려우므로 그 特性에 따라 使用할 수 있도록 兩쪽이 目的에 따라 選擇開發되어야 할 것입니다.

壓縮空氣式 Control Valve는 Valve 製作者가 손대기 쉬운 品種이며, Electric Control Valve類는 電動機나 Gear 製作者가 開發하기 좋은 品種입니다. 앞으로 發電所에는 이 電動機式 操作裝置의 需要가 漸漸 增加할 것입니다.

Turbine-generator supervisory Instrument는 터빈發電機 自體를 保護하기 爲한 計測裝置이므로 이미 設立된 國內 터빈發電機 製作者가 直接 開發하거나 積極的으로 計器製造業者에게 開發 生産토록 支援해야 할 것입니다.

터빈發電機 價格에 比하면 이 監視計器가 차지하는 比重은 重要性에 비추어 價格이 얼마안되므로 主機器製作會社나 政策의인 뒷받침이 없는 國內에서 製作되기까지는 長時間이 所要될 것입니다.

最近 發電所에 電子計算器가 使用 되는데, 各 測定值를 運轉員이 일일이 記錄할 必要가 없이 一定한 時間으로 自動記錄되도록 Data logger를 設置하며, 또 事故發生時에 非正常值를 自動으로 記錄하여 運轉員의 일을 도와 줄뿐만 아니라, 效率도 一定時間으로 計算記錄하여 效率的인 運轉에 도움을 주고 있습니다. 유럽에서도 지금까지는 Computer를 美國에서 輸入하여 많이 쓰고 있으므로, 他部分이 國內에서 供給된 後에도 于先은 輸入된 것으로 豫想하며, 國內 電子計算機産業이 發達하면 그때가서는 國産이 試圖될 것입니다.

V. 結 論

發電所의 自動制御分野는 우리나라에 實用化 된지도 二十年이 지났는데도 發電分野 實務에 從事하는 技術職 以外에는 많이 알려지지 않고 있는 實情입니다. 앞으로 發電所는 繼續 建設되는데 發電所運轉員을 養成 確保하기는 漸漸 어려워지고 機械가 大型 自動화됨에 따라 自動制御計器를 다루어야 할 必要人員은 漸漸 增加해가고 있습니다.

이런데도 불구하고 學校過程에서 다루지고 있는 自動制御는 現場에 設置, 運轉되고 있는 計器, 制御系統과는 差 距離가 있는 듯합니다. 앞으로 이 分野가 더 發展하기 爲하여 學校過程에서도 좀더 다루어지기를 바라며, 더 많은 技術資料가 國內版으로도 많이 普及되어 더 많은 젊은인꾼들이 養成되기를 期待하며 끝까지 읽어주신데 感謝드리는 바입니다.