

# 火力發電所 Boiler Tube 管理電算化

Computerization of Boiler  
Tube Maintenance



李圭善

韓國電力公社 發電部長

## I. 머리말

71年 7月 企業經營 改善의 一環으로 韓電에 電子計算機가 設置, 稼動된 이래 많은 分野에서 單位業務別 電算化가 이루어졌으며, 綜合經營 情報管理 System(MIS) 構築을 위하여 各方面에 業務開發이 활발히 進行되어 가고 있어 이제는 電算化 業務의 成長期에 들어 섰다고 볼 수 있겠다.

그리고 이제까지의 電算化 開發業務가 一般事務業務에 偏重되고, 우선적으로 效果가 나타나는 業務量 減少, 時間節約, 經費節減等의 觀點에서 推進되어 왔음은 必然的인 趨勢라 할 수 있다.

그러나 企業의 大型化, 專門技術의 細分化 傾向에 따라 技術蓄積, 專門家의 退職으로 인한 技術斷切의 防止, 特殊技術의 共用化, 單位業務의 標準化를 위해서는 技術業務의 電算化도 並行되어야 겠다.

이에 따라 韓電에서는 技術業務의 電算化가 各分野別로 推進되고 있는 段階이며, 發電分野에서도 發電計劃, 發電實績, 事故停止統計, 機器性能管理 System 등이 開發되어 使用되고 있으나, 本稿는 發電設備管理 System의 一部로서 開發되어 現在 開發中인 Tube 壽命 豫測方法을 活用한 "Boiler Tube 管理業務"의 電算化에 대하여 간략하게 紹介하고자 한다.

## II. Boiler Tube 壽命管理

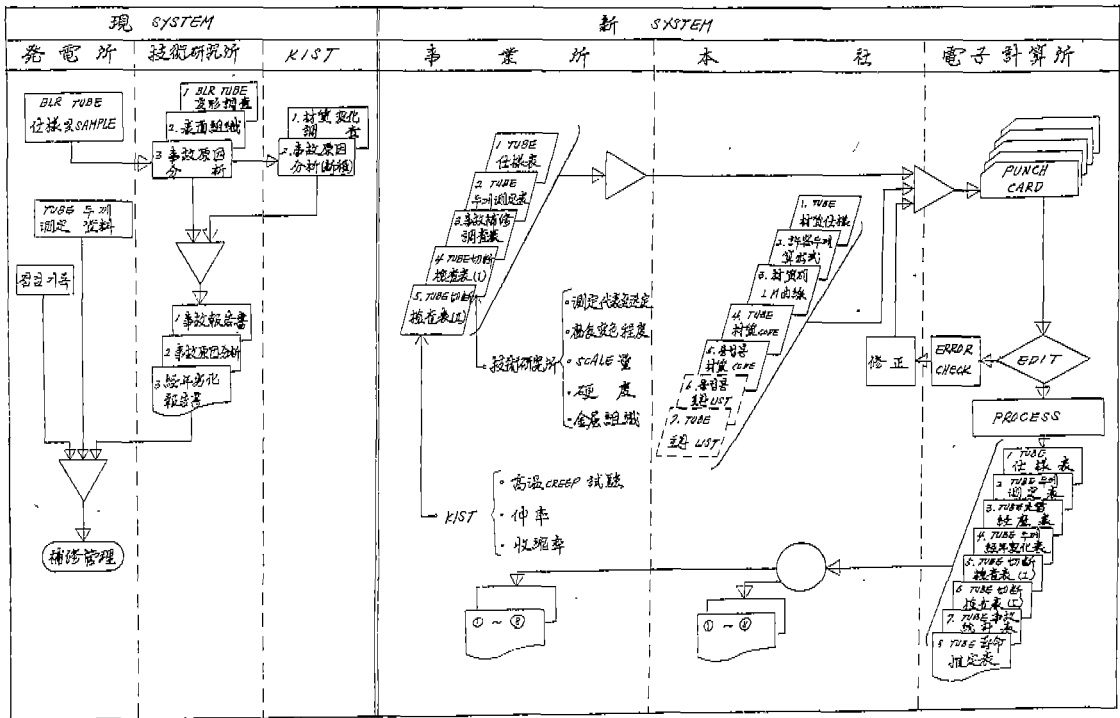
### 가. 電算化 目的

#### (1) 目的

이 System은 發電設備 管理 System의 一環으로 火力發電所에서 遂行하는 機器의 檢査, 補修 및 運轉上의 關係資料로부터 Bolier Tube의 經年劣化度를 把握하여 機器의 信賴度 向上, 補修時期決定, 設備維持費의 節減을 期하는데 있다.

#### (2) 開發事由

發電設備管理 電算化 開發은 機器의 種類, 構造, 運轉條件들이 多樣하여 業務量이 많고, 長期間이 所要된다. 故로 發電所 機器中 事故頻도가 높고 電算化 汎用性이 큰 Boiler Tube를 選定하여 開發後 먼저 開發된 發電事故停止統計 System과 結合하여 諸情報를 總合적으로 管理 分析함으로써 設備維持管理의 適定化를 期하고자 한다.



〈그림 - 1〉 System의 흐름圖

(3) 開發效果

(가) 汽力發電所의 Boiler 設備事故(全体 事故의 40%)中 90%를 點有하고 있는 Tube事故를 미연에 防止하여 設備利用率 向上(79. 1~12月中 Tube 事故 62件, 停止時間 3683時間).

(나) 經年劣化度에 의한 殘存壽命을 推定하여 適正 補修時期를 決定함으로써 資材 貯藏水準 減少 (Tube類).

(다) Boiler Tube 交替基準 確立

나. 處理概要

(1) 概要

定期點檢(年次補修)時 및 事故補修時 Tube 두께 測定資料, 切斷管 檢査資料 및 高溫 Creep 試驗資料로 Computer에서 다음의 出力表를 作成한다.

(가) 定期點檢時

- 두께 測定 및 두께 變化表
- 各 Tube의 殘存壽命(두께 減肉法 및 L. M. P法)

(나) 事故補修時

- Tube 金屬組織 檢査表
- 事故統計表

○ Tube 殘存壽命(Creep Rupture 試驗法)

(2) 入力票 作成區分

- 發電所 {
  - Tube 明細票
  - 두께 測定票
  - 事故補修調査票
- 技術研究所 {
  - Tube 切斷管檢査票(1)~硬度, SCALE量, 金屬組織
  - Tube 切斷管檢査票(2)~伸率, 收縮率, 高溫 Creep 試驗資料

(3) 處理

(가) Tube 明細票는 最初 入力時 Boiler Tube 座標圖面 作成後 事業所에서 作成하여, 本社(發電部 技術課)로 發送, 本社에서 諸般 關係資料(Larson-Miller Curve 및 常數 File)와 함께 Computer에 入力시킨다.

※ 仕様變動 및 Tube交替事由 發生時에도 本社로 送付, 本社에서 審査後 入力시킨다.

(나) 두께 測定票 및 事故補修調査票는 發生 月單位別(기준일 每月 1日)로 作成하여 電子計算所로 發送한다.

(다) 事故補修 및 交替 등으로 Tube를 切斷하여

〈表-1〉處理日程表

항목 \ 일	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
입력표작성	■	■	■	■	■	■	■	■	■																						
기계처리												■	■																		
보고서송부															■	■															

高温 Creep 試驗이 要求될 때는 別添樣式 ( Sample Tube Creep Rupture 試驗依賴書)을 作成하여 切斷管과 함께 技術研究所로 送付하면 技術研究所에서 試驗後 切斷管檢査票(1) 및 (2)를 作成하여 電子計算所로 發送한다.

(라) 電子計算所는 毎月 8日까지 入力票를 蒐集하여 機械處理後 毎月 15日까지 報告書(出力表)를 해당 事業所 및 本社(發電部 技術課)로 각 1部씩 送付한다(그림 1).

(4) 標準處理 日程表

Boiler Tube 檢査資料는 發生時마다 處理하며 處理期間은 月單位로 하고 日程表는 表 1과 같다.

다. 基本設計書

(1) 入力票

(가) Boiler Tube 明細票

火力發電所의 Boiler Tube 의 一般內容을 入力시키며 총 79 Column으로 構成

(나) Boiler Tube 두께測定票

定期點檢 및 事故補修時에 두께測定資料를 作成하며 총 44 Column으로 構成

※ Tube 座標圖面에 表示된 測定代表點을 주로 測定하며 필요시 다른 部位도 測定 可能하다.

(다) Boiler Tube 切斷管檢査票(1)

事故補修 및 Sample 管 切取時, 別添樣式(Sample Tube Creep Rupture 試驗依賴書)에 의거 技術研究所로 送付하여 技術研究所에서 Scale 附着狀態, 硬度 및 金屬組織을 入力시키며, 총 50 Column으로 構成

(라) Bolier Tube 切斷管檢査票(2)

(다)項과 같은 方法으로 技術研究所에서 高温 Creep 試驗後 그 資料를 入力시키며 총 73 Column으로 構成

(마) Boiler Tube 事故補修調査票

Tube 事故 發生時 및 Tube 交替時에 事業所에서

事故原因, 事故形態 및 補修事項을 入力시키며 총 40 Column으로 構成

(2) 出力表 一覽表

(가) Boiler Tube 明細表~Tube 의 一般內容

(나) Boiler Tube 두께測定表~두께測定資料 및 使用溫度別 殘存壽命

(다) Boiler Tube 交替經歷表~Tube 交替內容 및 履歷

(라) Boiler Tube 두께經年變化表~Tube의 減肉 推移

(마) Boiler Tube 切斷管檢査票(1)~Tube 의 金屬組織

(바) Boiler Tube 切斷管檢査票(2)~高温 Creep 試驗資料

(사) Boiler Tube 事故統計表~ Tube 事故統計

(아) Boiler Tube 殘存壽命推定表~ Tube 殘存壽命

(3) Code 體系表

(4) Boiler Tube 壽命 算出方法

(가) 許容最小두께變化에 의한 方法

Boiler Tube 는 高温에서 長時間 使用함으로써 許容引張應力은 使用溫度, 使用時間에 따라 變하게 된다. 따라서 許容두께는 아래 식에서 보는 바와 같이 變하게 되고 現場에서 測定한 두께 測定値와 比較하여 殘存壽命을 推定하는 方法이다.

$$t_a = \frac{P \times D}{200S + P}$$

t<sub>a</sub> : 許容두께 (mm)

D : 管外徑 (mm)

P : 使用壓力 (kg/cm<sup>2</sup>)

S : 許容引張應力 (kg/mm<sup>2</sup>)

Step-1. 許容引張應力(S) 算出

① Tube 의 使用溫度(管壁溫度) T° C

Tube 의 管壁溫度는 實測溫度를 適用하는 것이

〈表-2〉 관련온도 및 부가온도

응집상태	관련온도 (해당온도)	부가온도			
		가열않는부분	가열되는부분		
			주된가열방식		
복사가열	접촉가열	Fire Gas를 피하도 록 덮여있는 경우			
물 및 물과 증기의 혼합상태	허용운전압력 P <sub>1</sub> 또는 허용종압력 P <sub>2</sub> 에서의 포화온도	0℃	50℃	(15+2 S <sub>g</sub> )℃ 단, 최고 50℃	20℃
고온증기	고온증기	15℃	50℃	35℃	20℃

※ Se는 사용한 벽의 두께

가장 바람직하나 각 Tube 部位別 測定器 및 溫度 實測值 累積設備가 없으므로 “設計溫度” 혹은 “換算溫度”를 適用한다.

※ 換算管壁溫度：使用管의 高溫 Creep 試驗資料를 活用하여 使用蒸氣 溫度 및 設計溫度와 比較하여 決定한다.

※ 獨逸規格(T.R.D)의 경우 나타난 관련온도와 부가적인 온도(參照 關聯溫度 및 附加溫度 表2)

② Tube의 使用時間：τ 時間 實 運轉時間을 適用

③ L.M值

아래式(1)에서 해당 Tube의 L.M值를 計算

$$L.M = (T+273) (\log \tau + C) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (1)$$

[T：使用溫度(℃), τ：使用時間(Hr), C：常數]

④ 許容引張應力(S)

上記 ③ 項에서 구한 L.M值로 下記 曲線(그림2) 上의 交點의 縱軸에서 許容引張 應力을 求한다(그림2 Larson Miller 曲線).

Step-2. 許容두께(ta) 算出

許容引張應力으로서 平均徑 公式(2)에 의해 各使用時間別 許容두께 算出

$$ta = \frac{P \times D}{200 S + P} (1 + 0.005) \dots\dots\dots (2)$$

ta：許容두께(mm)

D：管外徑(mm)

P：設計最高使用壓力(kg/cm<sup>2</sup>)

S：許容引張應力(kg/mm<sup>2</sup>)

Step-3. 使用時間과 두께 變化測定值에 의한 두께變化式(3)을 作成

$$tu = f(\tau) \dots\dots\dots (3)$$

tu：두께實測值(mm)

τ：使用時間 f：變化常數

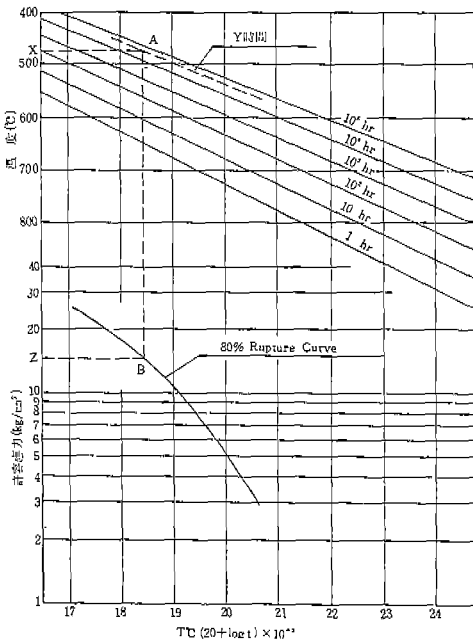
Step-4. 使用時間別 許容두께에 의한 許容두께 變化式(4)를 作成

$$ta = f(\tau) \dots\dots\dots (4)$$

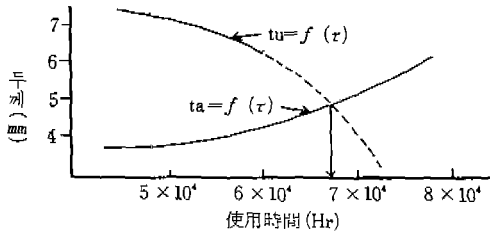
ta：許容두께(mm)

τ：使用時間(Hr) f：變化常數

Step-5. 上記(3),(4)式의 曲線上의 交點이 Tube 交替點이 된다.



〈그림-2〉 LARSON MILLER CURVE



〈그림-3〉 許容두께 및 두께變化曲線圖

(나) Larson - Miller Parameter 法

過熱器等の 高温部の Tube 群에 이 方法을 適用하여 新材 및 使用材의 高温 Creep 試驗資料로서 破斷曲線 및 管壁溫度를 決定하여 發電所에서 測定한 Tube 두께로서 殘存壽命을 推定하는 方法임.

Step-1. 使用應力 (S) 算出

$$S = \frac{P}{200} \left( \frac{D}{t} - 1 \right) \dots\dots\dots (5)$$

t : 測定두께 (mm)

D : Tube 外徑 (mm)

P : 設計最高壓力 (kg/cm<sup>2</sup>)

Step-2. L. M 值

上記 使用應力 (S) 으로, L. M 曲線 (그림 4 參照) 에서 曲線과의 交點의 橫軸에서 L. M 值를 求함

Step-3. 管壁溫度 (T) °C

“管壁溫度 File”에서 해당 Tube 의 管壁溫度를 불러냄.

Step-4. 耐用壽命 (τ<sub>0</sub>)

아래式 (6)에 의해 耐用壽命 算出

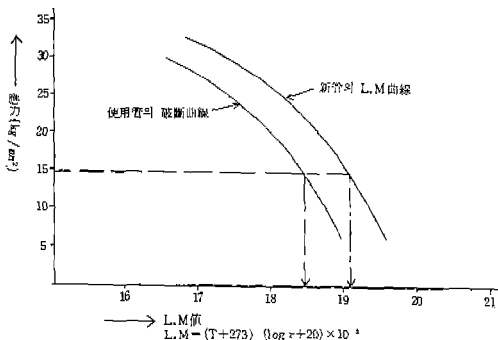
$$\tau_0 = 10 \left\{ \left( \frac{L.M \times 10^3}{T + 273} \right) - 20 \right\} \dots\dots\dots (6)$$

τ<sub>0</sub> : 耐用壽命 (Hr)      T : 管壁溫度 (°C)

L. M : L. M 值

Step-5. 殘存壽命 (τ), (Hr).

“總運轉時間 File”에서 해당 Tube 의 使用時間



〈그림-4〉 L. M 曲線

(τ<sub>1</sub>)을 호출하여 아래式에 의하여 求한다.

$$\tau = \tau_0 - \tau_1 \quad \tau_1 : \text{總運轉時間} \quad \tau_0 : \text{耐用壽命}$$

$$\tau : \text{殘存壽命}$$

(그림 4)는 L. M 曲線이다.

(다) 使用材의 Creep Rupture 試驗에 의한 方法

(나)項의 Larson-Miller Parameter (L. M. P) 法은 처음 入力時 管壁溫度를 “設計溫度” 혹은 “換算溫度”를 適用했으나, 一般的인 經驗에 의해 經年劣化가 發生하는 60,000 時間 使用 以後에는 全 使用期間中의 平均使用 溫度를 알기 위하여 使用 Tube 의 Creep Rupture 試驗을 實施하여 精確한 壽命을 推定하는 方法이다.

Step-1. 使用管의 使用應力을 平均徑 公式에 의하여 計算

$$S = \frac{P}{200} \left( \frac{d}{t_1} - 1 \right)$$

P : 設計最高壓力 (kg/cm<sup>2</sup>)

d : 使用管의 最小外徑 (mm)

t<sub>1</sub> : 使用管의 最小두께 (mm)

Step-2. 使用應力에 대한 新管의 L. M 值 (L. Mn) 를 L. M 曲線 (그림 2 參照)에서 求한다.

Step-3. 使用管의 Creep Rupture 試驗後, 使用應力 (S)에 대한 使用管의 L. M 值 (L. Mc)를 L. M 曲線 그림 4 에서 求한다.

Step-4. 新管과 使用管의 L. M 公式 (1)을 變形한 式 (7), (8)에 의해 “管壁等價使用溫度 (T)”와 “殘存壽命 (τ<sub>s</sub>)”을 算出.

○ 新管의 L. M 值

$$L. M_n = (T + 273) \{ 20 + \log(\tau + \tau_s) \} \times 10^{-3}$$

○ 使用管의 L. M 值

$$L. M_c = (T + 273) \{ (20 + \log \tau_s) \} \times 10^{-3}$$

○ 等價 使用溫度

$$T = \frac{L. M_c \times 10^3}{(20 + \log \tau_s)} - 273 \dots\dots\dots (7)$$

○ 殘存壽命

$$\tau_s = \frac{\tau}{10^{\left[ \frac{L. M_n - L. M_c \times 10^3}{(T + 273)} \right]}} \dots\dots\dots (8)$$

τ : 使用時間 (Hr)      L. M<sub>n</sub> : 新管의 L. M 值

L. M<sub>c</sub> : 使用管의 L. M 值      T : 等價 使用溫度 (°C)

τ<sub>s</sub> : 殘存壽命 (Hr)

※ 計算法

式 (8)에 任意의 溫度를 代入, τ<sub>s</sub>를 求하여 그값

을 式(7)에 代入시키는 回歸法에 의해 “等價使用溫度(T)” 및 “殘存壽命( $\tau_s$ )”를 求한다.

Step-5. 管壁溫도의 更新

現在까지 使用하던 管壁溫도를 全 運轉時間中の “平均使用溫度”로 更新

(5) 壽命推定結果 運用方法

發電所에서 合理的인 設備維持를 위한 長期間 使用한 Boiler Tube의 殘存壽命 推定方法을 各 Boiler의 補修對策에 活用하기 위해서는

(가) 設備診斷 및 經年劣化管理体制 構成

(나) Boiler Tube 測定 代表點 選定等의 問題點이 있으나 關聯部署와 協議하여 解決할 수 있다(技術研究所의 協議).

○補修運用面에서의 活用

(가) 殘存壽命이 10<sup>4</sup>時間 以下の 경우는 해당年度에 Tube 交替를 施行하고 殘存壽命이 10<sup>4</sup>時間 以上인 경우는 次年度까지 使用할 수 있다고 본다.

(나) 殘存壽命이 4×10<sup>4</sup>時間 以下の 경우는 技術研究所에 依賴, 1年內에 精密 點檢하여 2×10<sup>4</sup>時間 以上時에 交替範圍 및 所要資材를 把握하여 補修對策 樹立

(다) 使用時間이 얼마되지 않았는데 耐用壽命이 10<sup>5</sup>時間 以下の 경우, Protector 부착等 運轉上의

對策을 實施한다.

※ 高溫部에서의 Creep 破斷強度는 設備條件을 超過하지 않는 範圍에서 使用하던 Boiler Tube는 10<sup>5</sup>時間 以上까지 充分히 견딜 수 있다. 故로 이 경우에는 設計條件을 超過하지 않도록 運轉上의 對策을 樹立한다.

### Ⅲ. 맺는 말

發電設備管理 電算化의 一環으로 開發된 Boiler Tube管理 System은 現在 가장 널리 使用되는 Tube壽命算出 方法을 適用하였으며, 正確한 Tube 交替時期를 決定하고, 信賴性을 提高하기 위해서는 Tube 두께測定 誤差를 줄이고, 全 Tube의 두께를 계속적으로 測定할 수 있는 設備 및 運轉期間中 全 Tube群의 管壁溫도를 測定하여 使用溫度別 運轉時間을 累積할 수 있는 設備가 要求되나 이러한 問題點을 계속 研究, 補完함으로써, 더욱 信賴性 높은 System이 될 것으로 믿는다.

앞으로 Creep Rupture 試驗設備 및 運用人力 確保後(83年 確保豫定), 自体에서 Creep 試驗能力이 갖추어지면 이때까지 外部 用役에 의해 遂行되어 오던 Boiler Tube 經年劣化 判定을 어느 程度 自体 能力으로 解決할 수 있으며, 또한 電算化함으로써 業務改善의 效果는 크다고 하겠다.

—〈40p에서 계속〉—

核擴散 禁止法의 解除는 勿論, 建設保留中인 「그린치리버」 高速增殖爐의 早速完工을 위시하여 數十基의 增殖爐를 併行建設 하여 23年內에 各各 完成시켜 國家安保를 위한 核武器增産과 電力生産에 即應할 것으로 思料된다. 보다 安全하고 보다 經濟的인 增殖爐建設計劃은 Ftf의 試驗資料를 土台로 無難히 達成될 것이다.

美國을 떠나기 전에 에디슨財團 理事長 겸 世界動力會議 名譽會長 Walker L. Cisler氏가 「데트로이드」에 있는 自己事務所에 꼭 들러 달라는 要請이 있어 「데트로이드」電力會社 前職重役들을 만나 불 겸 그 分の 事務所를 禮訪하였다.

「씨슬러」氏는 84才 高齡의 屈指의 電力人으로서 「데트로이드」電力會社의 社長과 會長職을 長期 歷任도 하고 美國大統領 特別顧問의 重責을 맡은 바 있는 世界的인 知名人士이다.

「씨슬러」氏가 筆者를 別途로 만나보자는 目的은 蘇聯의 世界動力會議 國內委員會 委員長이 韓國側 國內 委員長과 만나 高速增殖原子爐에 關한 技術問題를 論議하고 싶으니 會談을 周旋해 달라는 依賴가 있어 筆者에게 中間役割을 하라는 것이었다.

美·蘇間의 國交가 險惡한 環境속에서 美國人으로서 橋梁役割을 할 수 있는 高位人物은 두사람 밖에 없는데 90才의 前駐蘇美大使 海미만氏 그리고 84才의 씨슬러氏라고 한다.

「씨슬러」會長의 貴重한 間接 提案을 歸國直後 우리側 國內委員長(韓國電力公社社長)에게 傳達報告함과 同時에 動力資源部 李宣基長官과 外務部에 直接報告한 結果 國策에 副應하는 話題이니만큼 그 뜻을 받아들여 促進하는 方向으로 하자는 決定을 보았다.