

豎軸型 水車發電機 軸振動에 關한 研究 (III)

(A Study for the Shaft Vibration of the Vertical Type Hydro Electric Power Generator No.III)

李 承 院*

(Lee Sung Won)

4. 華川水力發電所 第1號機

(1) 概 要

韓國電力株式會社의 招請으로 1962年 5月 26日~27日 華川發電所를 觀察할 수 있는 機會를 얻어 現場에서 技術陣에 依하여 提示된 發電機 軸振動에 關한 問題를 1963年 5月 日 研究 依頼를 받은 以來 3회에 걸쳐 現場에서 實驗 測定을 行하였고 豎軸型 水車發電機의 軸振動의 諸原因과 그 原因들에 依해서 發生하는 軸振動을 解析하여 測定된 振動曲線에서 主要原因이 무엇인가를 찾아 낼 수 있는 一般 判別法을 만들고 이 方法에 依하여 華川發電所에서 測定 實測資料로서 振動의 主要 原因을 判別하기로 하였다.

(2) 現場實驗 概況

第3회에 걸쳐 現場實驗 事項은 아래와 같다.

第1回出張(華川發電所)

時日 1963年 7月 18日~19日 兩日間

調査事項

- (가) 振動의 概況把握
- (나) Thrust bearing에 關한 構造
- (다) 計測장비 附着場所 및 附着方法
- (라) 軸 徑

第1號機	2號機	3號機
620m/m	620m/m	619m/m

(다) 其他事項

第2回出張(華川發電所)

時日 1963年 8月 16日~17日 兩日間

實施事項

- ① 變容型 振動計로 第1號機軸의 振動波形 및 振動을 測定(方法으로는 body 上에 固定還을 設置하고 그 위에 V-C type 振動을 設置하여 測定했음)

* 서울工大 敎授·正會員
Professor, College of Eng.
Seoul National University

- ② 動電型 및 reluctance 型의 픽업로 振動記錄試驗
- ③ Oscillograph를 써서 body 振動 및 軸振動을 撮影했으나 sweep time이 몇 秒 되지 않으므로 資料로서 價値가 없어 觀察만 行하고 Viscorder에 依하여 記錄했고 body 振動은 oscilloscope의 amp.를 使用했었다.

第3回出張(第2回測定實驗)

場所 華川發電所(第1號機 第2號機)

時日 1963年 12月 13日~15日 (3日間)

第2回實驗時는 第1號機의 負荷狀態下에 振動단을 測定했었으나 第3回 實驗에 있어서는 負荷移動, 無負荷, 回轉速度變更, 斷水實驗等을 行했고 아래와 같이 振動測定 뿐 아니라 質量-스프링型 加速計로서 radio telemeter 式을 應用 回轉加速도를 測定하였고 動電型 픽업으로 body 振動派型을 記錄했다.

實施事項

- ① 第1號 第2號 發電機 軸振動 測定
- ② 回轉加速度 測定
Magnet 附着, radio telemeter 應用 F.M. 變調方式
- ③ Body 振動波形 記錄
動電型 픽업(東芝製 Vibrometer)

(3) 振動 研究 實驗

(가) 測定 記錄

- (1) Body 振動 記錄 (그림 A)
- (2) 全負荷 200(rpm)回轉時 軸振動 曲線 (그림 B)
- (3) 無負荷時 軸振動 曲線 (그림 C)
- (4) 斷水時 軸振動 曲線 (그림 D)

(나) 測定曲線에 對한 檢討

全負荷時 曲線을 보면 最大振幅의 크기가 15/100m/m 程度이고 軸回轉의 周期과 같은 周期의 波形은 7~9배 마다 peak-to-peak value가 變하는 envelope의 變化가 있으며 軸 1回轉 周期內에 runner數와 같은 高調波가 回轉과 같은 周期의 波形의 振幅의 $\frac{1}{4}$ 程度의 振幅으로서 重疊되어 있고 無負荷時曲線은 負荷時曲線과 別差가 없고 斷水時(速度減少兼)는 高調波分이 없어지고 振幅이

減少된 것을 볼 수 있다.

速度에 度한 振動曲線의 振幅이 變化됨을 測定記錄으로부터 알 수 있다.

圓周方向의 加速度分을 governor 및 guide vane 負荷條件等에 따라서 圓周

上에 變速이 생기는가 檢討하기 爲해 設置測定試圖하였으나 accelerometer 에서 說明한 바와 같이 spring自體의 固有振動과 body 振動과 resonance 되어 固有振動數에 가까운 周波數가 加速度測定記錄에 나타났고 卽 한 回轉內에 變速같이 나타나 있어서 求하려는 加速은 나타나지 않았음.

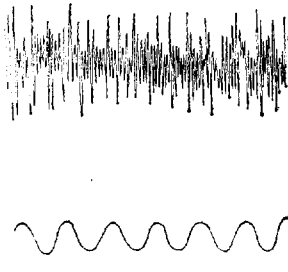


그림 A. Body振動 曲線

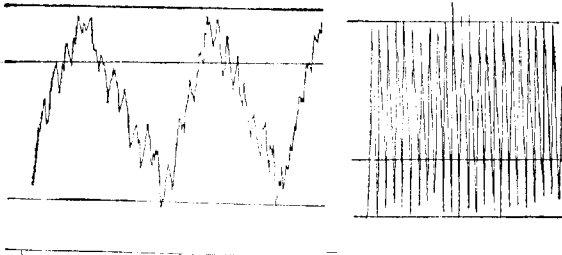


그림 B. 全負荷 200(rpm) 回轉時 軸振動 曲線

(4) 主振動 原因 判別

一般判別法을 基準로 原因을 判別해보면 위 測定된 曲線을 檢討해 볼 때 無負荷에 負荷로 移動되는 振動曲線에서 變化없음을 알 수 있어서 電氣의 原因에는 關係 없음을 알 수 있고 V-C 型 振動計로부터 記錄된 曲線을 觀察할 때 세가지 卽 A; 高調波, B; 基本波 C: envelope로 區分할 수가 있게 되는데 波形 B의 周期를 보면 完全히

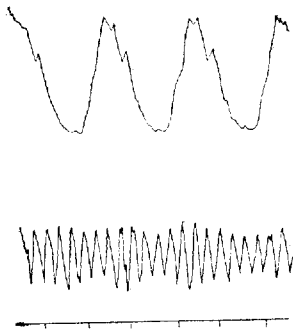


그림 C. 無負荷時 軸振動曲線

轉速度 變化에 따라 약간의 振幅 變化만 存在하므로 主

軸 1 回轉의 周期와 같음을 알 수 있게 된다. 따라서 이 振動 原因은 機械의 不平衡이나 thrust軸受의 不良이라 볼 수 있는데 機械의 不平衡力에 依한 振動振幅은 回轉速度에 比例하여야 하는데 測定된 曲線을 보면 回

原因은 質量不平衡이 아니고 thrust 軸受의 不良이라 斷定할 수 있다. 그러나 振幅의 變化가 약간 있으므로 機械의 不平衡力에 依한 振動로 重疊되어 있다고 볼 수 있다.

高調波 A는 實測定된 data에서 볼 때 B波 1 周期內에 約 14~15 倍의 周期(水車의 runner 數와 아주 近似하다)이며 斷水試驗을 하자마자 無負荷曲線에서 存在하던 高調波가 없어졌음을 볼 때 一般 判別法에서 取

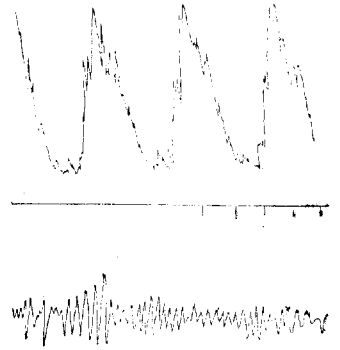


그림 D. 斷水時 軸振動 曲線

扱된 바와 같이 runner의 影響이라 斷定할 수 있게 된다. 그러므로 runner의 不平衡力이 커지면 반드시 全體의 振幅도 커지게 될 것은 勿論이다. Envelope가 되는 波形 C의 變化는 그리 큰것은 아니나 위에서 말한 軸受部의 不良으로 생긴 橫振動과 吸出管의 上下振動 및 水力 上下部 振動成分(振動周波數는 回轉數와 비슷함)과 合成되어 나타나는 橫振動의 amplitude의 變化로서 이것은 analog 計算機에 依해서 解明된 바 있다.

後 記

推力 軸受損耗의 機構와 原因을 參考로 添記하고 動의 不平衡이 있을 때 振動原因 除去時 注意事項을 적어 둔다.

水力發電機와 水車는 直續되어 있으며 그 全荷重이 thrust bearing에 걸려 있으므로 振動의 重要한 原因의 하나로 볼 수 있는 것이 이 推力軸受部라 하지 않을 수 없다. 그래서 thrust 軸受의 損耗의 機構를 살피고, 또 原因을 좀 詳細하게 考察한 後, 이런 軸受의 損耗들도 因해 생기는 振動을 解析해 본다.

(가) Thrust 軸受의 損耗

① 發熱, 燒付

發熱과 燒付는 같은 것이 아니며 또 반드시 相伴하는 것은 아니다. 摩擦面의 局部的 或은 全面的인 溫度上昇은 潤滑膜을 破壞하여 局部的 또는 全面的 燒付를 일으키는 重要한 因子의 하나가 된다. 그러나 發熱이나 溫度上昇에 關係 없이도 摩擦面의 局部的 或은 全面的 凝着에 依하여 燒付가 생기는 수도 있다.

發熱이나 溫度上昇은 凝着의 直接 또는 間接의 重要

한 요인이 되고 또므로 摩擦面의 凝着에 伴하여 發熱이나 溫度上昇이 일어나는 境遇가 많다. 그래서 摩擦面의 凝着(即 燒付)과 發熱이나 溫度上昇은 密接한 關係가 있다. 凝着은 潤滑膜의 破斷에 依하는 것인 主가 되는데 油膜 破斷에는 높은 接觸壓力이나 硬固形異物의 介入에 起因하는 機械的 油膜 破斷과 高速 또는 高溫에 依한 熱的 油膜 破斷이 있다.

摩擦面溫度가 局部的, 瞬間的 異常上昇을 生하고 然後에 結果로서 油膜 破斷을 일으키는 일이 極히 많은데 一般으로 適當한 潤滑劑이면 그 單分子膜 乃至 數分子膜의 摩擦面에의 結合력은 大端히 強해서 단일 溫度上昇에 依한 熱的 油膜 破斷을 일으키지 않을 때는 摩擦面 材料 그것의 強度보다 強한 結合력을 갖는 境遇가 자주 있어서 이와같은 境遇는 力學的으로 潤滑膜에 作用되는 힘은 摩擦面 材料에 作用되어 破損을 일으키게 된다.

(2) 摩耗(wear)

(a) 正常摩耗(normal wear)

境界潤滑 乃至 混合潤滑 등의 境遇 接觸面內의 所謂 眞實接觸點에 있어서 油膜破斷을 일으키는 境遇가 많은데 이들 微細한 眞實接觸點에 있어 接觸部分이 잘리어 破壞하는 作用과 兩摩擦面의 硬도가 다른 微細한 切削作用에 依하여 柔한 쪽의 表面이 削取되는 作用을 正常摩耗(normal wear)로 보는데 이 正常摩耗는 一般으로 速度보다도 軸受壓力의 影響을 더 크게 받게 된다. 이 正常摩耗는 軸受의 損耗現象이지만 不可避하고 또 必然的인 現象이고 異常現象은 아니다.

(b) 어브레이시브 摩耗(abrasive wear)

硬質의 abrasive 한 固形異物이나 硬한 摩耗粉 등의 存在下에 있어서 研摩作用에 依하여 일어나는 摩耗로서 硬材質과 柔材質의 組合에 있어서는 柔한 쪽의 材料를 摩耗하지만 그 以上으로 abrasive 한 異物이 柔한 面에 埋込되어 이것이 研摩板과 같은 役割을 해서 硬한 쪽의 材料의 摩耗가 問題로 되는 境遇가 많다. 固形異物의 크기로서는 油膜厚보다 작은 것은 거의 問題가 되지 않고 또 너무 커서 摩擦面에 드러가지 못하든가 油와 함께 運搬되지 못하는 것은 問題가 없고 中間 크기로서 摩擦面에 들어가고 油膜두께 보다 크기가 큰 것만이 問題가 된다.

또 摩擦面 材料의 異物埋込性(embed lability)에 關係해서는 原則으로서 完全히 埋込되는 것이 좋고 埋込性이 나쁜 것은 摩耗의 點 뿐 아니라 燒付의 點에서 危險이 크다.

(c) 異常 摩耗(abnormal wear)

軸受의 材料, 設計, 製作, 取付, 軸 및 軸受 附近의 狀態 및 使用條件(荷重, 振動, 衝擊, 速度, 溫度, 潤滑狀

態) 등에 異常이 있을 때 早期摩滅, 偏摩耗, 引搔摩耗, 過負荷摩耗, 面의 거칠어짐, 變色 등의 異常한 摩耗를 말한다.

(d) 腐食 摩耗(corrosive wear)

腐食이 主要한 役割을 하는 境遇의 摩耗를 말한다.

③ 腐食, 壞食, 프레팅摩耗(fretting corrosion)

壞食, 프레팅摩耗는 本質的으로 摩耗現象이지만 大氣中에서는 酸化를 伴하는 것이 普通이고 또 特殊性이 強하므로 別途로 取扱한다.

(a) 腐食

腐食에는 酸化와 潤滑劑 등에 依하는 化學腐食 및 電氣化學的 腐食 3種類가 있다고 볼 수 있는데, 酸化에는 常溫의 酸化(錆)와 高溫의 酸化가 있어서 軸과 軸受 metal의 錆과 錆에 依한 裂, 破損, 剝離, 面의 거칠어짐, 摩耗 등과 硬한 酸化粉末의 發生 등이 問題로 된다. 그러나 通行性의 錆이 아닌 것 即 不動態 酸化皮膜 등은 原則的으로 害롭지 않고 境遇에 따라서는 有用하다. 錆은 濕氣나 水分과 潤滑劑中의 遊離酸 其他 腐食性 不純物 및 溫度에 가장 影響을 받게 된다.

化學腐食은 潤滑劑中의 添加劑 其他 化學的으로 活性인 成分이 軸及 軸受材料와 化學反應을 일으켜서 생기는 腐食으로 溫度가 높은 境遇에 때때로 問題가 되고 軸受가 化學腐食에 依하여 全面的으로 變色하는 수도 있다. 다음으로 電氣化學的인 腐食은 金屬이 이온으로 되어 溶出함에 依하여 잃어지는 것으로 水分이나 鹽分, 遊離酸 등의 不純物을 內包한 潤滑油에서 比較的 長期使用되거나 停止期間이 길든가 할 때 種種 問題가 되며 이것은 潤滑되는 部分 보다도 潤滑되어 있지 않는 部分이든가 軸이나 軸受의 外部 등의 쪽이 問題로 되는 境遇가 많다.

또 水分의 存在下에 金屬表面에 局部電池가 되는 境遇(金屬表面의 局部的인 電位의 差는 材質因子 其他 複雜한 原因에 依해 생긴다) 單純한 電氣化學的腐食에 그치지 않고 그 生成成分에 潤滑油中의 酸素가 作用하여 酸化作用이 行해져서 金屬酸化物 即 錆이 생기는 境遇가 많다.

(b) 壞食(erosion)

一般的으로 腐食과 相伴하여 일어나는 境遇가 大端히 많지만 腐食과는 全然 다르고 化學的 摩耗現象이 아니고 明確한 機械的 摩耗現象 即 機械的 作用에 依하여 일어나는 接觸面 또는 非接觸面의 微細한 浸食, 崩壞現象이지만 現象的으로 特殊한 것이어서 接觸壞食과 非接觸壞食으로 나뉜다.

接觸壞食(contact erosion); 巨視的인 靜止狀態에서 接觸하고 있는 接觸面에 있어서 되풀이하여 接觸壓力 등

에 基因하여 일어나는 表面의 微細한 破壞, 摩耗現象인데 大氣中에서는 酸化를 同伴하여 微細한 酸化摩耗粉을 生하는 境遇가 많다. 그러나 酸化는 부수적인 現象이어서 例를 들어 不活性 gas 中에 腐食作用을 일으키지 않고 壞食을 일으킴과 같이 接觸腐食과 接觸壞食은 過程이 全혀 다르다.

非接觸壞食(non-contact erosion): 이것은 非接觸面의 壞食現象이지만 非接觸이란 뜻은 固體面과 接觸해 있지 않다는 뜻이고 摩耗를 生하는 힘을 傳하는 것의 接觸體는 液體 乃至 氣體이어서 이들이 갖는 運動에너지가 物體의 表面에 힘을 作用하여 그것에 依해 表面이 徐徐히 浸食되어가는 現象이다.

(c) 프레팅 摩耗

接觸壞食은 巨視的 靜止狀態의 接觸面의 摩耗인 것에 比하여는 fretting wear는 接觸面의 微小振幅의 相對往復運動을 伴하는 境遇에 그것에 依하여 되풀이 되는 摩擦에 依해 생기는 機械的 摩耗로서 速度가 빠르고 短期間內에 相當히 빠른 摩耗를 生하는 것이 많다. 大氣中에서는 原則으로 酸化를 同伴하여 微細한 酸化摩耗粉末을 發生하지만 眞空中이나 不活性 gas 中에서는 酸化가 일지 않는다. Fretting 摩耗는 摩耗量 L 와 荷重 W 과의 關係가 直線的이 아니고 $L \propto W^{0.7}$ 의 關係가 있고 이 fretting 現象은 軸受의 潤滑面에서 일지 않고 噛입 및 接合面 등에서 問題가 되고 潤滑面은 停止中 振動을 받은 境遇에 問題가 된다.

(나) Thrust 軸受의 損耗의 原因

損耗의 機構를 (가)에서 取扱하였는데 그 原因으로서는 다음 것들을 들 수 있다.

① 設計의 잘못

- (a) 負荷算定의 잘못(特히 thrust 荷重, 모멘트荷重等)
- (b) 各部의 彈性變形, 熱變形의 算定의 잘못
- (c) 設計諸元(軸受 gap, 給油孔, 油溝, 幅徑比)의 잘못
- (d) 軸受 metal의 材質의 選定 잘못
- (e) 潤滑劑의 選定의 잘못
- (f) 潤滑法, 潤滑裝置, 潤滑系統의 不適當, 不備

- (g) 放熱에 對한 配慮의 잘못
- (h) 密封裝置, 여과장치의 不適當
- (i) 防鏽處置之 不充分
- (j) Housing 其他 軸受주위의 設計 不良
- (h) 軸受 metal 乃至 housing의 支持剛性의 不適當

② 製作, 加工의 不良

- (a) 軸受 metal 및 housing의 크기 精度 不良(寸法 公差, 眞圓度, 圓筒度, 平滑度, 軸受 gap 等の 精度不良)
- (b) 加工法, 마무리法 程度 不良
- (c) 材質 不良(鍍金, 라이닝材質 不良, 鑄込 不良)
- (d) 라이닝코와 裏金의 接着不良
- (e) 其 他

③ 整備, 守의, 不良組 立調

- (a) 偏心에 依한 一部 接觸
- (b) 길들이 運轉의 不充分
- (c) 取付精度 不良
- (d) 取扱 不注意
- (e) 點檢方法 乃至 不注意한 點檢
- (f) 潤滑劑의 補給, 交換의 不適當
- (g) 먼지, 摩耗粉末, 水分 其他 異物의 對策 不良
- (h) 急激한 起動, 停止
- (i) 潤滑劑의 品質 不良, 汚染
- (j) 油量의 過不足
- (k) 潤滑裝置의 故障
- (l) 取扱 不良

振動原因의 除去方法中의 하나로 腐食部分의 溶接에 依한 肉盛이나 “코트본드”나 “스리로이”와 같은 充填劑를 使用하여 pitting된 구멍을 메우면 되는데 溶接時에는 그 周圍部分을 加熱하게 되므로 加熱된 部分이 弱하게 된다. Bcr 鋼에서는 500°C가 되는 點에서는 그 點에서 pitting이 일어나기 쉽다.

發電機側에서는 捲線의 再調整이나 鐵心部分의 平衡狀態를 조사하여 平衡시키면 되고 不平衡이 甚한 境遇에는 balancing mass를 使用하여 平衡시킬 수도 있다.

(1964年 9月 10日 接受)