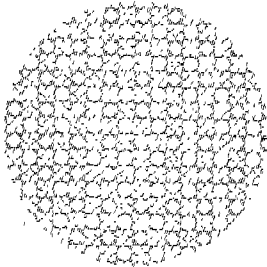


# 高電圧大容量回轉 機器의 豫防診斷

## The Prevention and the Diagnosis for the Accident of the Large High Voltage Rotation Machinery



崔 洵

韓電技術安全支援室

### 1. 머리말 .

人類文明이 現代와 같이 發展하게 된 것도 여러가지 形態의 에너지를 利用하는 技術을 開發한 所産이라고 본다.

가장 初期的인 에너지인 불의 發見으로부터 文明은 開花되기 시작하였으며 1760年代에 James Watt 가 蒸汽機關( Reciprocating Engine)을 發明하여 農耕, 交通, 製造, 수송에 이르기까지 필요한 動力을 人力이나 家畜에 依存하던 것을 機械의에너지 利用으로 産業革命을 일으킨 것은 획기적인 變革이라 하지 않을 수 없다.

이로부터 百余年後인 1870年代에 電氣에너지가 發明되고 機械에너지와 電氣에너지를 相互變換할 수 있는 發電機와 電動機가 實用化된 것은 第2의 技術革命이며 오늘날 現代文明 形成에 基底를 이루고 있다.

또한 百余年後인 1970年代에는 이미 核에너지를 이용한 原子力發電設備가 運營되어 값싸고 풍부한 電氣를 얻게 되었으며 앞으로 百年後로 展望하고 있는 未來의 에너지인 核融合에너지 利用技術을 에너지의 完全自給時代를 豫告하고 있다.

그러나 機械에너지를 電氣에너지로 變換하는 發電機와 電氣에너지를 機械에너지로 바꾸는 모터는 核에너지→機械에너지→電氣에너지에서 배놓을 수 없는 에너지變換過程으로서 그 重要的 역할은 예나 지금이나 앞으로도 변함이 없을 것이다.

發電所, 産業設備, 모든 分野에 걸쳐 動力發生裝置로서 基底를 形成하고 있는 高電圧 大型 發電機와 모터가 信賴性있게 運用될려면 이를 유지관리하고 保存하는데 最善을 다할 必要가 있다.

### 2. 最初의 發電機 및 모터

1866年 獨逸의 Siemens가 最初로 發電機를 만든 이래 우리나라에서는 1882年 5月 韓美通商協定이 체결되자 美國初代公使부인에 따른 答禮로 閔泳翊을 全權大使로한 통상사절단이 渡美하게 되었는데 그때 에디슨에 依하여 發明實用化된 白熱電燈이 신기하여 임금께 渡美贈物로 宮中에 電燈을 설치키로 하고 에디슨會社와 계약을 하게 된데서 비롯된다.

그후 國內政局의 不安定으로 미루어오다가 1887

乍初에 發電機械資材가 도착하여 景福宮 香遠亭 연못가에 設置하고 같은해 상반기에 蒸氣機關을 稼動하여 發電한 것이 우리나라 發電機의 始初인 것이다.

이 蒸氣機關 發電機의 상세한 자료가 남아 있지 않은 것이 유감스러운 일이나 65年間 景福宮에 出仕하였던 老尚宮의 1936년에 있었던 증언이 그때當時를 想像해 보는데 도움이 될 것으로 믿어 紹介한다 「景福宮 香遠亭이 있는 연못가에 洋式건물이 서고 큰 물탱크가 세워졌으며 건물내는 機械가 설치되고 西洋인이 공사를 했다. 그리고 乾清宮(景福宮內殿 지금은 없어졌음)內的 여러방에도 天井에 대롱모양의 끈이 설치되고 그 끝에 가지(茄子)모양의 유리가 달리고 앞뜰에도 기둥을 세우고 큰 燈籠을 매달았다.

工事が 완성되어 西洋人の 손에 의하여 기계가 움직이기 시작하였는데 연못의 물을 빨아올려 물이 끓는 소리와 먼 우뢰같은 시끄러운 소리가 났다. 그리고 얼마후 殿內的 가지모양의 유리에는 환한 불빛이 대낮같이 밝아 모두들 놀랐으며 구경꾼들이 몰려 들었다.

電燈이 켜져 있을 때는 밤새도록 기계소리가 시끄러웠으며 고장이 잦아 停電이 되므로 行燈이나 燭台도 그대로 사용했다.

발전기는 고장시의 수리비뿐 아니라 石炭값이나 西洋人 월급이 막대하고 불이 켜졌다 꺼졌다 하여 언제부터인가 乾달불(乾逆火)이라 부르게 되었다.

매일 저녁때면 西洋인이 發電機를 운전했으며 그는 항상 6連發拳銃을 휴대하고 다녔다.

어느날 한국인 조수가 권총을 오발하여 西洋인이 命中死亡하였다. 그뒤 不吉한 징조라하여 內殿에는 電燈을 中止하였다」

여러가지 記錄을 綜合하여 分析하여 보면 最初의 發電機는

1) 美國Edison會社가 供給한 出力5 KW 以下의 小型 蒸氣(機關) 發電機이며

2) 美國Edison社가 파견한 技師 William Mckay가 設置運轉하였고 그가 死亡한 후 美國人技師 A. Pyiare가 고용되었으며

3) 보일러의 燃料는 高價의 有煙炭을 사용한 것으로 보며

4) 設置場所는 景福宮 香遠亭이 있는 연못가이

며 연못물을 機關冷却水로 사용한 것으로 본다.

이로 因하여 연못물이 뜨거워져서 고기가 때 죽음을 당하였으며 臣下들이 이를 일컬어 蒸魚라 하였다니 이 고기들이 우리나라 開化文明의 첫 희생자라고 봐도 무방할 것이다.

모터(電動機)는 1820年 D. F. Arago의 多相 유도전동기의 基本原理인 Arago's Disc로 부터 시작하여 1884~1888年 사이에 N. Tesla와 G. Ferraris는 2相交流回轉磁界를 發明하고 1889年 시카고박람회에 모터를 出品하였으며 이어 Westinghouse가 특허를 獲수하였다.

우리나라에 모터가 使用된 것은 1899年 음력 4月 8일 석가탄신일을 기하여 서울鍾路에 開通된 電車에 使用된 直流 600V의 直流電動機가 표시인 것으로 본다.

電車開通직전에 가공선 50m가 도난 당했다는 報聞이 곧 撤消되어 直결처럼 당했다는 것을 보아서도 그 당시 電車工事의 重要性을 짐작하고도 남음이 있다.

이와같이 近代文明의 利器가 우리나라에 들어온 후 日帝의 暗黑期를 지나 獨立이 된 후부터 産業이 급성장함에 따라 大容量 高電壓의 回電機器가 動力의 공급을 담당하고 있다.

現在 發電機로서 가장 큰 容量은 950MW(1222MVA)이며 外國에서는 1300MW의 超大型發電機가 운전중에 있고 모터도 수만KW까지 있어 百餘年前의 開化期와는 격세지감이 있다.

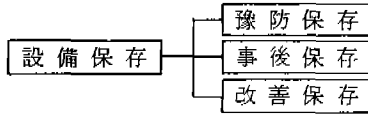
### 3. 設備保存 活動

#### 가. 設備保存 (Maintenance)

最近 國內外를 莫論하고 生産性的 向上과 勞動力不足對策으로서 機械化, 自動化 대규모화로의 전환으로 積極적인 設備投資를 하여 生産의 主体가 人力으로부터 設備로 이전하고 있을뿐 만 아니라 製品의 量, 品質, 價格이 設備에 좌우되어 設備의 重要性이 强調되고 있다.

따라서 종래에는 무시되었던 設備保存業務가 중요시되어 많은 企業에서는 設備保存業務를 조직화하고 義務적으로 시행하고 있다.

設備保存의 近代의 概念은 1955年경에 美國에서 提唱되었다.



### 1) 豫防保存

定期的인 點檢診斷을 하여 事故發生에 도달하기 전 단계에 있는 機器를 豫防補修하는 活動이다. 即 豫防補修를 행할 경우 그것을 하지 않을 때에 생기는 손실이 豫防補修에 들어간 費用보다 크게되면 경제적으로 有利하다.

### 2) 事後保存

故障이 난후 補修하는 경우가 豫防補修에 드는 비용보다 싸게 되는 때이다.

예를 들어 發電機코일 소손사고 경우 復舊日數가 要하고 事故가 난후 수리하는 事後保存을 할 경우 電力生産이 중단 그 容量相當의 豫備機가 필요하기 때문에 豫備保存를 하는 편이 有利하다.

### 3) 改善保存

設備의 劣化防止, 유지비절감, 성능향상, 또는 信賴性向上에 드는 費用이 劣化損失과 유지비증가 보다 적게될때 적용하는 保存法이다.

우리가 設備를 經濟的으로 保存하기 위해서는 위의 3個保存方法을 검토 제일 有利한 것을 선정하여 實施한다.

## 나. 保存活動

保存活動을 能率的으로 施行하기 위해서는 다음과 같은 方法을 体系있게 運營해야 소기의 目的을 達成할 수 있다.

- 1) 現場保存組織強化
- 2) 保存基準設定
- 3) 保存管理制度化
- 4) 保存新技術 積極導入運用

## 4. 電氣回轉機械 豫防診斷

豫防診斷 概念은 設備保存과 더불어 機器의 利用率向上, 生産性向上 및 壽命管理, 事故豫防 지속적인 性能유지를 위한 活動이며 그 重要性이 인식되어 各企業에서 이미 시행하고 있으며 診斷技術과 장비도 팔목할만큼 進歩되고 最新化 되어가고 있다.

高電圧, 大型回轉機械인 發電機와 모터의 豫防診斷技術도 이미 定立되어 있으며 稼動中診斷, 分解精密診斷과 電氣的診斷, 機械的診斷으로 區分되고 있다.

點檢診斷內容과 方法은 많은 文獻에서 言及하고 있으므로 여기서는 主要한 要點만 記述하여 設備運用에 參考가 되도록 하고자 한다.

### 가. 稼動中 診斷

機器가 운전되고 있는 중에서 機器内部에 일어나고 있는 狀態를 진단하여 故障의 進行을 早期에 발견하여 조치를 취한다. 運轉中 主要診斷要素는 振動, 溫度, 壓力, 팽창, 電壓電流 등이 될 것이다.

여기서 특히 振動은 가장 回轉機器의 狀態를 代表하는 파라메타가 되고 있다.

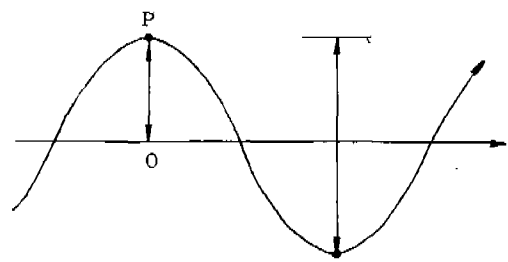
回轉體의 振動을 分析診斷하는데는 振幅, 周波數位相, 波形 4個要素를 측정검토하여 다음과 같은 진동원인 중 어디서 유래하는지를 판단하게 된다.

### 振動原因

- 1) 重量不均衡(Unbalance)
- 2) 接觸磨損(Rubbing)
- 3) 軸中心不一致(Misalignment)
- 4) 自勵振動(BRG Oil Whip)
- 5) 熱特性팽창, 변동
- 6) 電氣的不平衡
- 7) 기초, 배관의 영향
- 8) 弛緩
- 9) 計測器 장애

### 振動診斷要素

#### 1) 振 幅



〈그림-1〉 振動크기

- 振幅表示

全振幅 (P - P' Peak-Peak Displacement)

半振幅 (O - P Half-Peak Displacement)

- 振幅單位

$$\mu m : \frac{1}{1000} mm$$

$$mil : \frac{1}{1000} inch = \frac{25}{1000} \mu m$$

mm/sec - peak, inch/sec - peak : 振動速度

mm/sec<sup>2</sup> - peak, inch/sec<sup>2</sup> - peak : 振動加速度

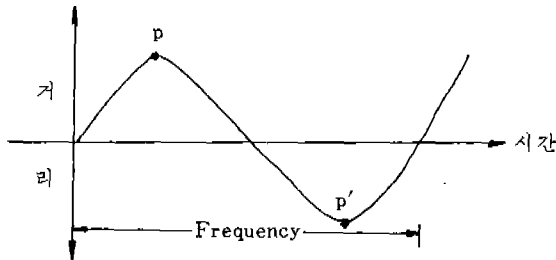
- 振動上限値

		$\mu m (p-p')$	
측정위치	회전수	1800	3600
축받침대		87 (3.5Mils)	62 (2.5Mils)
축		175 (7 Mils)	125 (5 Mils)

- 振動診斷

진동의 크기와 變動樣相으로 機器內的 異常의 범위와 進行速度, 위험수준을 分析評價하게 된다.

### 2) 周波數 (Frequency)



〈그림-2〉 振動周波數

- 周波數單位

C. P. M (Cycle per Minute)

C. P. S. (Cycle per Second)

- 診斷

○ 運轉Cycle 同一 : Unbalance 振動

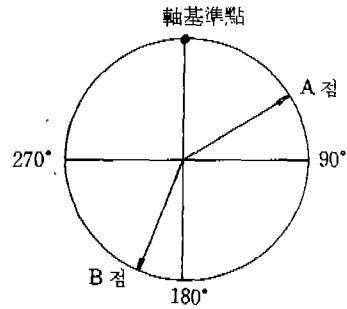
○ 運轉Cycle의 1/2배 : BRG Oil Whip 振動

○ 運轉Cycle의 2배 : Rubbing 弛緩振動

○ 運轉Cycle의 정배수 : Ball BRG 손상 振動

### 3) 振動位相 (Angle Phase)

- 測定순간에 振動體 位置를 軸基準點을 원점으로 하는 角으로 表示



〈그림-3〉 振動位相表示

- 單位 : Angle, 度

- 診斷

○ 振動位相角 固定경우

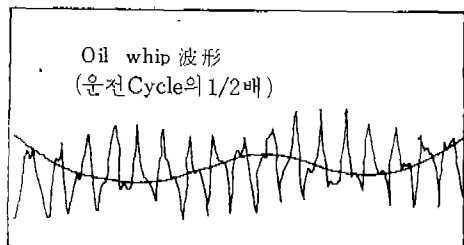
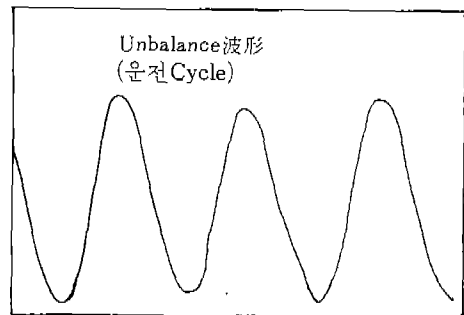
어떤 운전조건에도 관계없이 항상 진동체 방향이 一定하게 固定되었을 때는 무개불균형 (Unbalance) 으로 보며 Balancing 교정이 가능하다

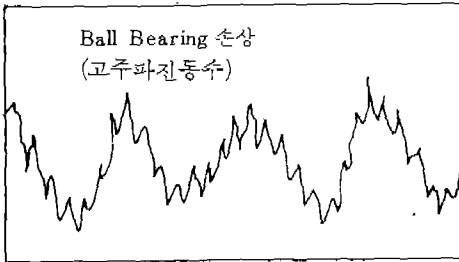
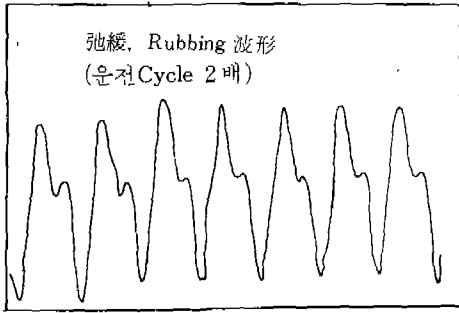
○ 振動位相角 變動할 경우

운전조건에 따라 시시각각으로 A點, B點, C點으로 變動될 때는 機械的 결함 (이완, Rubbing, Oil Whip 등) 이 존재하고 있다고 보며 원칙적으로 Balancing 교정이 不可能하다. 기계적 결함을 제거한 후 Balancing 을 시도한다.

### 4) 振動波形

진동파형은 Oscilloscope로 測定하며 진동파형 형태에 따라서 振動原因을 分析 判斷한다.





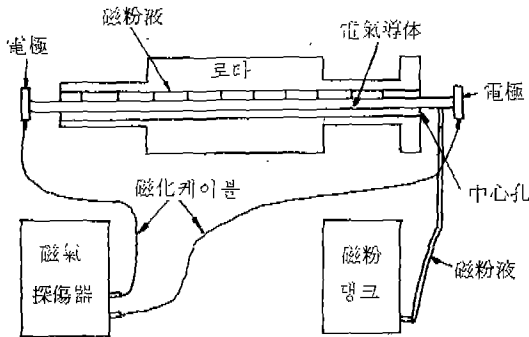
〈그림-4〉 振動波形例

### 나. 分解精密診斷

發電機나 모터의 内部診斷은 定期點檢期間에 實施하게 되며 一般的으로 육안점검, 절연시험등은 보편화 되어 있으므로 여기서는 省略하고 最新裝備로 診斷하지 않으면 알 수 없는 軸中心孔 결함과 軸内部결함, 썬기(Wedge)균열에 대한 진단을 소개한다.

#### 1) Rotor 비파괴검사

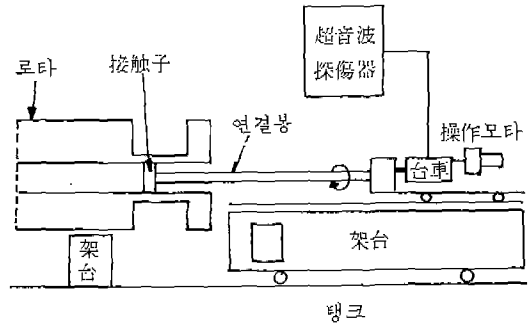
大型發電機에 있어서 高速回轉體인 발전기모터는 제일 중요한 부분이다. 특히 로타(Rotor) 軸은 製造過程부터 엄격한 品質管理을 하여 충분히 信賴性이 높은 재질이다.



〈그림-5〉 中心孔磁粉探傷法

그러나 長期間 運轉을 하고 기동정지가 많게 되면 經年劣化에 依한 결함유무를 진단 安全性 評價를 해야한다.

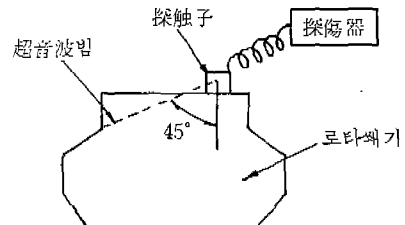
發電機로터의 中心孔内部결함이나 로타表面 内部의 결함유무를 정밀히 檢査하는 方法은 高感度超音波探傷法(그림 5)과 그림 6과 같은 磁粉探傷法이 있으며 결함부의 사진촬영과 화면으로도 직접볼 수 있다.



〈그림-6〉 磁粉探傷法

#### 2) 로타썬기(Rotor Wedge)

電力系統事故중격, 모터링(Motoring), 脫調 不均衡運轉等으로 로타表面過電流에 의하여 썬기가 과열하는 경우와 高速回轉 中の 遠心應力에 의한 썬기의 均열결함이 内部에 발생하며 이를 진단하기 위하여 超音波 探傷裝置로 그림 7과 같이 썬기의 결함을 진단한다.



〈그림-7〉 超音波探傷試驗方法

### 5. 맺음

高電壓 大容量 回轉機器의 豫防診斷은 設備保存 側面뿐만 아니라 生産性向上, 信賴性向上 安全性向上에 기여하는바가 크므로 診斷活動을 活性化해야 하며 最新診斷裝備와 技術이 많이 開發되어 있으므로 이를 널리 利用한다면 設備運營에 많은 기여가 될 것으로 믿는다.

\*