

電源設備의 保全技術

— 音響分析에 의한 自家發電 裝置의 故障診斷例 —

에너지節約이 중요시되고 있는 시대적 배경하에서 모든 設備에 있어서 시스템토틀로서의 高効率化가 중요한 테마로 되고 있다. 또한 최근의 설비는 機器系가 小形化, 大容量化하는 한편 制御系는 복잡화, 고도화되고 있으며 運用의 平易化와 保全의 전문화가 발달되고 있다. 만일 設備障害가 발생했을 때에는 그 復旧에 많은 시간과 經費를 필요로 할 뿐만 아니라 設備移動이 연속화되는 상황하에서는 障害나 메인テナンス에 의한 設備停止는 生産性이나 品質의 저하에 크게 영향을 미친다. 따라서 설비를 계획할 경우에는 設計에서 건설, 운영, 보전, 폐기 또는 更新까지를 토틀로 포착하여 라이프사이클코스트를 최소로 하기 위한 검토가 되는 경우가 많아지고 있다.

設備 자체의 라이프사이클은 그 設計段階에서 거의 결정되는데 生産시스템(生産라인까지를 포함시킨 設備시스템)의 視點에서 라이프사이클코스트를 최소로 하기 위해서는 設備의 保全技術이 중요한 팩터가 된다.

여기서는 이 중요한 保全技術에 대하여 電源設備의 保全과 故障診斷을 중심으로 해설하는 동시에 최근 日本의 NHK에서 개발한 音響分析에 의한 自家發電裝置의 故障診斷에 대하여 그 개요를 소개한다.

1. 設備의 保全

일반적으로 설비보전의 종류는 다음과 같이 분류된다.

○事後保全: 설비에 고장이 발생한 후에 수리하는 방법

○豫防保全: 定期點檢에 의하여 設備에 고장이 발생하기 전에 수리, 교환하는 방법.

○生産保全: 豫防保全을 발전시켜 설비의 稼動率을 높이고 生産性向上을 고려한 방법

○豫知保全: 設備의 劣化를 檢知하여 설비에 고장이 발생하기 전에 수리, 교환을 하여 고장율의 저감을 기하는 방법 또는 保全方式으로서 다음과 같이 分類할 수도 있다.

○時間基準保全: 一定期間마다 점검하는 방법

○狀態基準保全: 설비의 劣化度에 따라 점검하는 방법

設備規模가 작고 障害에 의한 영향도 적은 경우에는 事後保全으로 할 수도 있는데 일반적으로는 시스템토틀로서의 高効率化를 기하기 위해서는 설비에 장애가 발생하기 전에 點檢整備를 해야된다.

그러나 豫防保全=時間基準保全의 경우에는 設備 본래의 라이프사이클에 비하여 짧은 스펀에서의 메인テナンス를 하게 되어 오히려 메인テナンス에 따르는 初期不良, 또는 시스템稼動率의 저하 등의 문제점이 實効的으로는 무시할 수 없다.

따라서 최근에는 설비의 自動化, 無人化運用이 확대되는 한편 온라인으로 리얼타임한 設備診斷技術

발달도 함께 보다 효과적인 保全方式으로서 豫知保全=狀態基準保全으로 移行하는 경향에 있다.

2. 電源設備의 保全

電源設備에 대해서는

○設備障害時에는 生産시스템의 정지는 물론 外部에의 波及事故를 포함하여 그 영향이 크다.

○活線에서의 點檢整備가 곤란하며 또한 設備診斷이나 修理技術이 전문화되어 있다.

는 등의 특징이 있으며 따라서 그 保全의 意義는 크며 効率的이고 確實한 保全이 중요하다.

電源設備은 變壓器, 차단기, 단로기, 개폐기, 케이블, 발전설비, 축전지설비, 保護, 制御系 등으로 구성되는데 그들에 대하여 日常, 定期, 精密, 臨時 點檢 등의 각 보전규모에 따라 外視, 作動, 機能, 綜合點檢 등의 내용의 보전을 실시하며 設備機能의 유지를 기하고 있다.

이들 設備의 運用단계에서의 保全의 중요성은 물론이지만 우선 設備의 設計段階에서 設備시스템으로서의 신뢰성, 運用保全性의 向上을 고려하는 것이 시스템토틀로서의 高効率化에서 유효하다.

표 1에 최근에 電源設備를 설계할 경우에 고려되고 있는 항목을 들었다. 이 중에서도 前述한 바와 같이 豫知保全=監視機能의 充實이 중요하게 되어 가고 있는데 센서技術, 소프트技術의 발달로 充實해지고 있다.

〈표-1〉 최근의 電源設備에서의 設計思想

目的	項目	具體例	摘要
信保運用 全用性 性 의 向 上	機器의 靜止化	制御系(시퀀서) 保護繼電器 電壓調整室	可動機器의 電子化
	機器의 乾式化	乾式물드變壓器 眞空遮斷器	오일리스化
	冗長系의 充實	主回路, 制御系, 補機系 등의 2重化	시스템다운의 防止
	監視機能의 充實	인테리겐트모니터 自己診斷機能	豫知保全性의 向上
	充電部의 閉鎖化	큐비클式, 메탈클래드式 配電盤	
시스템改善	제일세이프設計 플로프設計		

표 2에 監視技術의 개요를 들었다. 앞으로는 온라인에서의 活線診斷 등의 診斷方法의 그레이드업이나 人間的 육감에 의존하고 있는 診斷(音, 色, 냄새 등)의 自動化 등 診斷內容의 充實을 기해야 될 것이다.

〈표-2〉 設備監視技術의 例

센서系	具體項目例	對象機器例
電磁特性	絶緣·耐壓, 誘電率	케이블
壓力	油壓, 水壓, 가스壓	變壓器, 遮斷器, 自家發電裝置
溫度	油溫, 水溫, 活線溫度	自家發電裝置, 母線
光學	赤外線, ITV, 比重	蓄電池, 보일러
振動	機械作動振動, 衝擊應答	自家發電裝置, 電動機
音響	機械作動音	自家發電裝置
成分分析	絶緣油, 潤滑油, 가스混入	變壓器, 自家發電裝置

3. 自家發電裝置의 自動監視시스템

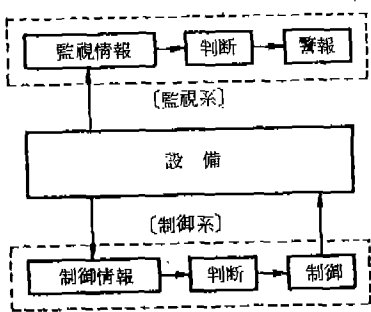
NHK에서는 社會的責務에서 電波保護가 중요하며 이를 위해 自家發電裝置에는 停電時的 확실한 始動性과 安定된 運轉性이 요구된다. 自家發電裝置는 常時에는 待機狀態에 있기 때문에 定期的인 運轉試驗 등에 의하여 機能維持를 도모하고 있다.

또한 이미 電氣系를 主体로 한 마이점에 의한 自動監視裝置를 도입하여 보수, 점검을 용이하게 하고 간소화하고 豫知保全性의 向上을 기하고 있으므로 우선 이 시스템의 개요에 대하여 설명하기로 한다.

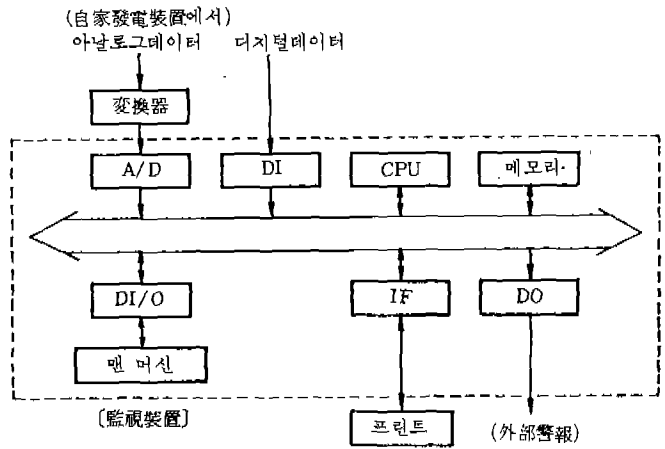
이 監視裝置는 自家發電裝置의 豫知保全 또는 障害探索을 목적으로 하고 있으며 따라서 그림 1과 같이 保護制御系와 監視系와는 각각 독립된 系統構成으로 하여 각 계통의 시스템信賴性의 向上을 기하고 있다.

그림 2에 監視裝置의 블록系統을 들었다. 自家發電裝置의 停止, 始動, 運轉의 각 상태에 따라 機器의 상태를 常時 自動監視하는 동시에 보수, 점검시에는 필요한 데이터를 체크할 수 있는 기능을 갖추고 있다.

표 3에 入力데이터, 표 4에 監視項目과 處理內容의 例를 들었다. 監視項目중 機關入口 潤滑油 溫度



〈그림-1〉 制御・監視시스템의 構成概念



〈그림-2〉 自家發電裝置：監視裝置의 블록系統

〈표-4〉 自家發電裝置：監視裝置의 監視項보다 處理內容의 예

監視項目	異常檢出處理內容	監視條件		
		停止	始動	運轉
燃料小出槽	機關停止後의 油面下限檢出	○		
	燃料移送된 運轉時間의 上限檢出	○	○	○
오일팬內潤滑油	油面上·下限檢出	○	○	○
라디에이터冷却水	液面下限檢出	○	○	○
機關入口潤滑油壓力	運轉中의 下限檢出			○
	停止中의 下限檢出	○	○	○
機關入口潤滑油溫度	發電出力, 機關室溫에 따른 演算值와의 比較			○
機關出口冷却水溫度	下限檢出	○		
	上·下限檢出			○
機關室內溫度	下限檢出	○		
	上限檢出	○	○	○
밸브 閉	閉檢出			○
排氣溫度	發電出力, 機關室溫에 따른 演算值와의 比較			○
發電電壓	上·下限檢出			○
發電出力	上限檢出			○
發電周波數	上·下限檢出			○
蓄電池電壓	上·上限檢出	○	○	○
	下限檢出		○	
蓄電池電流	셀電動機電流의 上, 下限檢出		○	
蓄電池比重	蓄電池溫度에 따른 演算值와의 比較	○	○	○
蓄電池液面	下限檢出	○	○	○
始動時間	셀電動機開放, 電壓確立까지의 上限檢出		○	

〈표-3〉 自家發電裝置：監視裝置의

入力데이터 例

아날로그 데이터	디지털 데이터
機關入口潤滑油压	셀驅動指令
機關入口潤滑油温	셀解放指令
機關出口冷却水温	電压確立
排氣溫度	燃料移送펌프運轉
機關室內溫度	發電機運轉中
蓄電池電压	自家發停止指令
蓄電池電流	蓄電池液面低下
蓄電池比重	潤滑油레벨上, 下限
蓄電池溫度	라데이터冷却水레벨低下
發電電压	램퍼開
發電出力	燃料油面低下
發電周波數	

排氣溫度 등은 監視時의 주위온도나 엔진의 負荷量에 따라 定常値가 변화하기 때문에 그들을 補正하는 演算處理를 하고 있다. 또한 蓄電池 比重에 대해서는 센서의 特性이나 液溫에 의한 變化를 補正

하기 위한 演算處理를 한다.

自動監視中에 異常을 檢知했을 경우에는 과거 8 回分の 蓄積데이터를 프린트아웃한다. 또한 아날로그데이터의 일부에 대해서는 그래프로 時系列 데이터로서 프린트아웃할 수 있다.

前者의 예로서 그림 3에 發電電压 異常檢知時, 또한 後者의 예로서 그림 4에 엔진始動時의 크랭킹電压의 異常檢知時의 프린트아웃例를 들었다.

이 監視裝置는 디젤發電裝置뿐만 아니라 가스터빈發電裝置에도 도입, 운용되고 있다.

4. 音響分析에 의한 自家發電裝置의 診斷

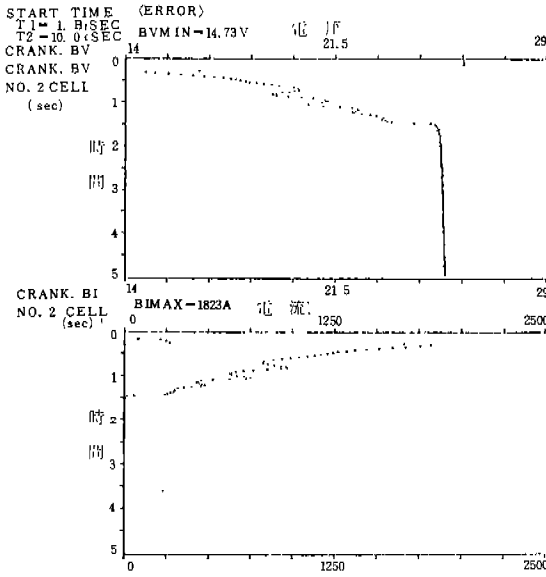
NHK에서의 過去 7 年간의 自家發電裝置의 障害 中 약 30%가 機關部分에 기인되고 있다.

그러나 自家發電裝置의 운전에 당장은 故障를 가져오지 않는 디젤엔진部分의 경미한 異常의 진단에는 숙련자의 전문지식을 필요로 한다.

AG VOLT	<ERRDR>	<-7>	<-6>	<-5>	<-4>	<-3>	<-2>	<-1>	<0>
L.O. PRESS <KG/CM2>		3.49	3.34	3.44	3.50	3.50	3.44	3.31	3.48
L.O. TEMP <C>		*	*	*	*	*	*	35.1	39.8
C.W. TEMP <C>		*	*	*	*	*	*	44.9	44.9
EXT. TEMP1 <C>		*	*	*	*	*	*	159.7	207.5
EXT. TEMP2 <C>		*	*	*	*	*	*	153.8	186.2
ROOM TEMP <C>		*	*	*	*	*	*	14.7	14.4
BATT. VOLT <V>		*	*	*	*	*	*	27.55	28.96
BATT. CURNT <A>		*	*	*	*	*	*	0	0
BATT. GRAVITY <POINT>		*	*	*	*	*	*	1250	1250
BATT. TEMP <C>		*	*	*	*	*	*	13.5	13.5
AG VOLT <V>		211.1	211.2	216.2	219.8	223.5	224.5	225.0	225.0
AG POWER <KW>		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AG FRQNCY <HZ>		60.6	60.6	60.7	60.7	60.6	60.6	60.6	60.6
INTK. PRESS <KG/CM2>		0.11	0.13	0.12	0.11	0.12	0.11	0.11	0.12
INTK. TEMP <C>		*	*	*	*	*	*	26.0	31.1

(注) <0>가 異常發生時, <-1>~<-7>은 異常發生前, <-7>이 가장 오래된 데이터를 표시한다.

〈그림-3〉 自家發電裝置：監視裝置의 프린트아웃例 1 (發電電压 異常)



〈그림-4〉 自家發電裝置：監視裝置의 프린트
아우트例 2 (크랭킹電壓異常)

속런지는 自家發電裝置의 운전자에게서 어느 정도의 설비상태를 파악할 수가 있고 또한 일반인이 라도 운전중에 그 운전조건을 변화시키면 運轉音의 변화를 感知할 수가 있다. 여기서 이번에 自家發電裝置의 運轉音의 패턴認識에 의한 디젤엔진 診斷裝置를 개발했으므로 그 개요를 설명한다.

(1) 音響診斷의 原理

디젤엔진의 作動은 吸氣, 壓縮, 膨脹, 排氣 등 일련의 사이클을 반복하는 것이다. 이에 따른 運轉音은 機關音(燃料爆發에 의한 실린더 등의 振動音과 피스톤, 吸排氣弁 등 可動部의 動作音)과 排氣音(燃燒가스의 大氣中에의 放出音)을 主成分으로 한다.

또한 그 音響레벨은 機側 1m에서 100~120dB (A)로 音響에너지로서는 주로 약 5kHz까지의 周

波數成分으로 구성된다.

이 運轉音은 일련의 엔진作動사이클에 同期한 固有의 패턴을 가지고 있으며 엔진의 運轉條件의 變化에 의하여 그 패턴도 일정하게 변한다. 따라서 自家發電裝置의 運轉音을 正常運轉메모리와 패턴을 비교함으로써 엔진의 運轉狀態를 診斷할 수가 있다.

(2) 音響診斷裝置의 개요

이번에 개발한 音響診斷裝置의 블록系統을 그림 5에 들었다.

엔진은 사이클릭動作이기 때문에 音響信號의 定常性에서 우수하며 엔진의 回轉角度펄스를 기준으로 함으로써 信號의 세그멘테이션은 용이하다.

일반적으로 信號分析을 위해서는 우선 주요한 특징, 패러미터의 軸出이 필요한데 그 處理方法으로서는 周波數領域과 時間領域에서의 分析으로 差別할 수가 있다.

이 音響診斷에서는 周波數軸分析과 파워어레이트에 의한 방법이 유효하다. 파워어레이트란 信號가 가진 스펙트럼에 대하여 어떤 周波數 이하의 에너지가 占하는 비율로 定義되며 다음 식과 같이 표시할 수가 있다.

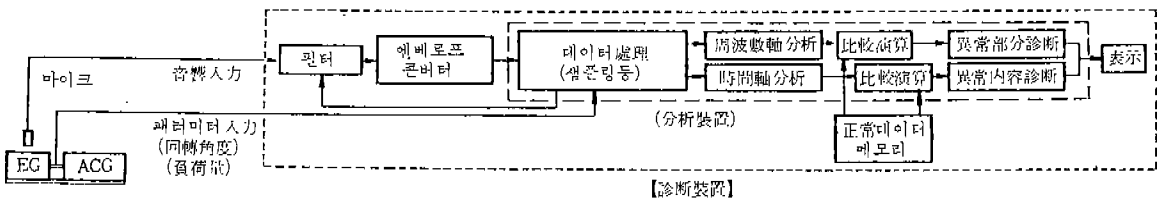
$$P.R.(F) = \frac{\int_0^F w(f) \cdot G(f) df}{\int_0^{f_{max}} w(f) \cdot G(f) df}$$

단, P.R.(F) : 파워어레이트
w(f) : 무게함수
G(f) : 파워어스펙터

무게함수 w(f)는 信號成分의 周波數分布와 分析해야 될 周波數帶域과의 關係에서 가령 1, f, f² 등과 같이 선택함으로써 診斷精度를 올릴 수가 있다.

〔音響分析의 順序〕(그림 5 참조)

① 엔진음을 마이크로폰으로 잡아 필터에 입력하



〈그림-5〉 自家發電裝置：音響診斷裝置의 블록系統

고 診斷內容에 따라 分析裝置에서의 지령에 의하여 액티브필터의 通過帶域을 변화시킨다.

② 필터通過後 엔베로프콘버터에 의하여 音響스펙터의 包絡強度데이터로 변환한다.

③ 分析裝置에서는 엔진回轉角度펄스를 基準으로 하여 데이터샘플링을 한 후 同期加算을 하여 엔진回轉變動이나 外部노이즈의 영향을 제거한다.

또한 運轉音의 固有패턴은 엔진의 負荷量에 따라서도 변화하기 때문에 燃料流量을 패러미터로 하여 데이터의 補正을 한다.

周波數軸分析에 의하여 異常內容을, 또한 時間軸分析에 의하여 異常場所를 判定한다.

④ 패러미터 중 回轉角度는 감기어의 齒를 검출하여 基準펄스를 出力하는 磁氣센서에 의하여 실시하며 또한 負荷量은 燃料流量을 電發信器(機械式 燃料流量 調整器에 부착한 포텐서미터)로 검출한다.

(3) 自家發電裝置 : 音響分析의 實例

診斷하는 디젤엔진의 異常內容으로서는 그 發生頻度 등을 고려하여

- ① 吸氣弁端 間隙의 異常
- ② 排氣弁端 間隙의 異常
- ③ 燃料噴射壓力의 異常
- ④ 燃料噴射時期의 異常
- ⑤ 燃燒異常(減筒運轉)

에 대하여 실시했다.

또한 데이터分析에서의 시방은 다음과 같이 했다.

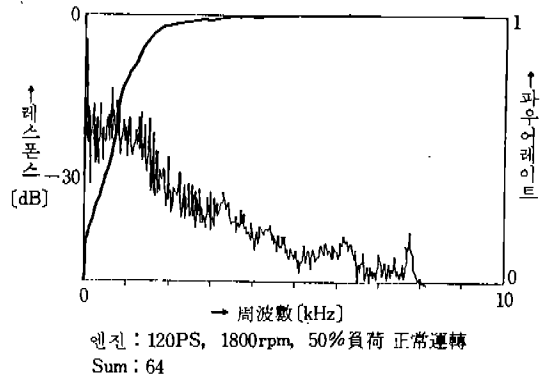
- 샘플링數 : 500/運轉사이클
- 量子化數 : 16
- 데이터數 : 4 / 診斷項目
- 負荷條件 : 5 / 診斷項目

(診斷項目을 위의 5項目으로 하면 데이터메모리 容量으로서는 100K 바이트가 된다)

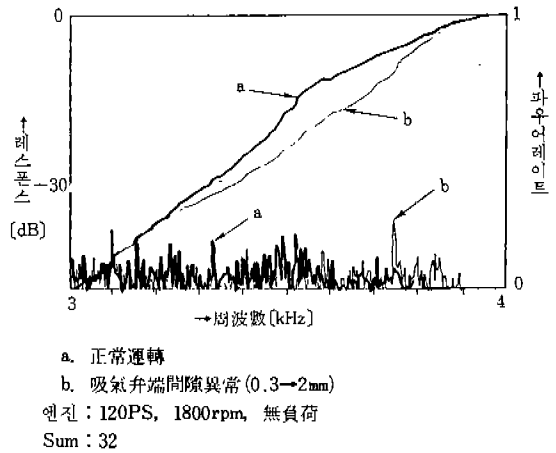
실제의 데이터分析은 모델機 複數台에 대하여 人爲的으로 異常運轉을 시켜서 실시했다. 다음에 든 分析事例에서는 모델機의 엔진 시방 同期加算 10數 運轉條件에 대하여 附記했다.

(1) 周波數軸分析

그림 6에 든 엔진音의 파워스펙터와 파워어레이트의 일반에서 音響에너지의 대부분은 약 5kHz 까지 포함된다는 것을 알 수 있다. 또한 音響分析에 有用한 周波數成分, 즉 運轉條件의 변화에 따른



〈그림-6〉 엔진音의 分析例 1 (파우어벡터와 파워어레이트)



〈그림-7〉 엔진音의 分析例 2 (周波數軸分析)

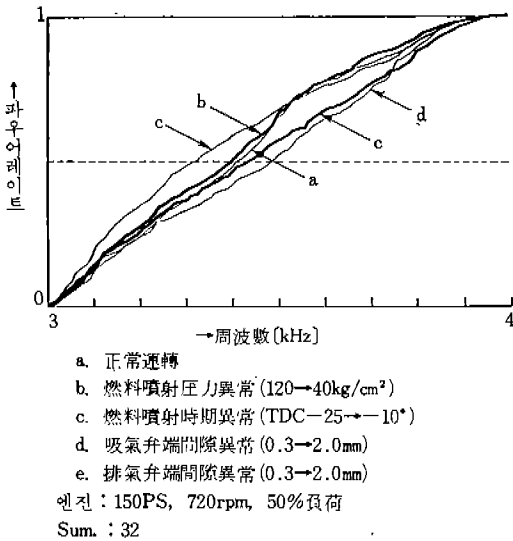
音響패턴의 변화도 이 周波數帶域內에서 나타난다.

그림 7 에는 異常發生時의 周波數軸分析例를 들었다. 異常發生에 의하여 파워스펙터는 變化하는데 그 특징의 軸出은 곤란하며 파워어레이트에 의한 마크로한 分析에 의하여 異常의 檢知가 용이하게 된다는 것을 알 수 있다.

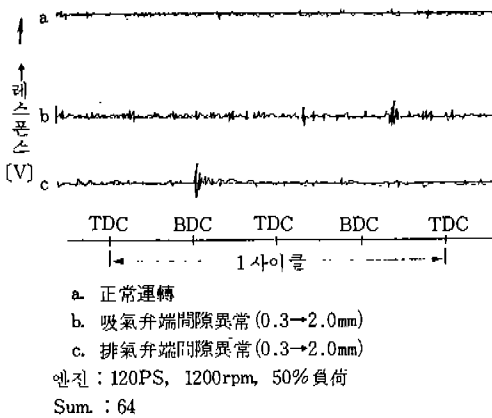
또한 그림 8 에는 각 진단항목에 따른 파워어레이트 分析例를 들었는데 가령 파워어레이트가 0.5에 해당하는 周波數를 弁別함으로써 異常內容의 判정을 할 수 있다.

(2) 時間軸分析

各氣筒의 燃燒나 各可動部의 動作은 엔진運轉 사이클에 同期되는 일정한 타이밍으로 정해져 있다. 따라서 엔진回轉角度펄스를 基準으로 하여 音響레벨의 異常이 엔진運轉사이클의 어느 타이밍에서 발



〈그림-8〉엔진음의 분석例 3 (파우어 스펙트럼 분석)



〈그림-9〉엔진음의 분석例 4 (時間軸分析)

생했는지를 檢出함으로써 異常發生部位를 판정할 수가 있다.

그림 9에 異常發生時의 時間軸分析例를 들었다.

(3) 收音方法

收音은 마이크로폰으로 하는데收音포인트와 마이크로폰特性이 診斷精度에 관계가 되기 때문에 각종의 데이터 분석을 실시했다.

그 결과 엔진에서의 直接音 레벨이 높고 또한 室壁에서의 反射音, 冷却팬의 바람을 가르는 소리 등 定常性이 있는 노이즈는 音響패턴의 일부로서 처리할 수 있으며 랜덤노이즈는 샘플링데이터의 同期計算에 의하여 처리할 수 있으므로收音포인트로서는

엔진의 中央, 上部 1m의 1點으로 可能해졌다. 이에 의하여 診斷의 効率化, 容易化, 迅速化를 기할 수 있다.

또한 마이크로폰特性은 無指向, 單一指向 등이면 된다.

(4) 運用

앞에서 설명한 바와 같이 音響信號 中 分析에 有用한 周波數成分은 약 5kHz까지이다.

또한 엔진의 機種에 따라 音響診斷裝置의 시스템 調整이 필요한데 소프트웨어處理對應에 따라 汎用性은 확보할 수 있다.

따라서 音響診斷裝置의 運用方法으로서는 設備別의 專用機 對應 이외에도 리모콘回線의 利用이나 現場에서의 테이프記錄 등에 의한 集中管理 시스템도 가능하다.

또한 音響診斷의 原理에서 自家發電裝置의 診斷뿐만 아니라 사이클릭作動으로 音響을 發生하는 機器에의 適用도 가능하다.

自家發電裝置의 診斷技術에 대해서는 振動分析, 回轉速度 變動分析(失火, 가스漏洩診斷), 클랭크軸 歪角度分析(燃料流量診斷) 등의 방법도 시도되고 있다.

設備의 高度化와 그 運用의 自動化, 無人化에 의하여 運用의 平易化와 保全의 專門化는 더욱 발달될 것이다. 그 중에서 센싱技術과 소프트웨어技術의 充實을 배경으로 하여 設備의 診斷技術은 앞으로 더욱 중요한 과제가 될 것이다.

그러나 人間の 육감에 의존하지 않을 수 없는 부분이나 設備를 停止시키고 숙련자의 전문기술에 의하여 진단하고 있는 부분도 많으며 이들은 모두 앞으로의 과제가 될 것이다.

이번에 개발한 音響診斷裝置는 人間の 聽感을 機械化하는 하나의 方法으로서의 시도이며 종래에 숙련자의 육감이나 복잡한 진단기술에 의존하고 있던 것을 마이컴에 의한 音響패턴認識에 의한 자동진단으로 대체하는 것으로 비교적 용이하고 또한 높은 精度도 진단할 수 있다는 것을 알았다. *