

회전기계의 이상진동진단시스템의 개발

Development of Vibration Diagnosis System for Rotating Machine

양 보 석* · 장 우 교** · 임 동 수** · 김 호 중***

Bo-Suk Yang, Woo-Kyo Jang, Dong-Soo Lim and Ho-Jong Kim

(1996년 4월 13일 접수 ; 1996년 5월 29일 심사완료)

ABSTRACT

One of the greatest shortcoming in today's predictive maintenance program is the ability to diagnose the mechanical and electrical problems within the machine when the vibration exceeds preset overall and spectral alarm levels. In this study, auto-diagnosis system is constructed by using A/D converter to convert analog to digital signal. With this device the system analyses input signal to diagnosis machine condition. Many plots, which display machine condition, and input values of every channel are calculated in this system. If the fault is found, the system diagnoses automatically using fuzzy algorithm and trend monitoring. Prediction is also performed by the grey system theory. Operator finds out the machine operating condition intuitively based on with personal computer CRT in using this system.

1. 서 론

발전플랜트 등 각종 산업분야에서 많은 회전기계가 설치되어 사용되고 있다. 이들 회전기계는 플랜트 내의 중요한 위치를 차지하고 있기 때문에 기계의 신뢰성 및 가동율 향상을 위해 기계를 정기적으로 정지하고 점검하는 『정기진단』을 수행하고 있다. 이 방법으로는 이상의 조기발견이 곤란할 뿐만 아니라 정상적으로 기능을 발휘하고 있는 기계를 정지하는 것에 의해 오히려 이상을 일으킬 가능성도 있다. 따라서 가동 중에 기계의 상태를 감시하고 진단을 수행하기 위해 이상진단 기술의 개발이 강력하게 요망되고 있다⁽¹⁾.

중요한 회전기계에는 운전상태를 감시(monitoring)하기 위해 각종 센서가 부착되어 있고, 설비보

안의 측면에서 유용하게 활용되어 왔다. 회전기계에서는 온도, 압력, 유량 등의 process data뿐만 아니라 통상 진동신호도 감시대상이 되고 있다. 이는 진동신호가 회전기계의 건전성을 나타내는 중요한 지표가 되고 이상이나 고장의 초기검지에 유익한 자료가 되기 때문이다. 그러나, 이상이나 고장이 발생하였을 경우, 진동 데이터로부터 원인을 추정하는 데에는 매우 전문적인 지식과 오랜 경험이 필요하다. 또한 원인추정에 있어서 잘못된 판단은 큰 사고와 경제적 손실을 야기시킬 수 있다.

최근 플랜트의 고성능화, 복잡, 시스템화 및 고도의 전문가 부족 등의 상황하에서 이상진단 및 고장진단의 자동화에 대한 요구가 매우 높게 되고 선진국에서는 상당히 오래 전부터 전문가 시스템의 개발에 역점을 두고 연구가 진행되어 왔다^(2,3).

회전기계에 있어서 이상진단 시스템은 특히 대형터보기계를 설비한 발전플랜트에 있어서 개발이 진행되고 있으며, 진단의 알고리즘은 운전원(operator)에의 친화성, 이해하기 쉬움 등을 종합적으로 배려한 「인과메트릭스방식」^(4,5)을 채용하고 있다. 이

*정회원, 부산수산대학교 공과대학 기계공학과

**부산수산대학교 대학원 기계공학과

***정회원, 한국중공업(주) 기술연구원

러한 이상진단 시스템에서는 진동 데이터에 기초하여 이상검지 및 실시간의 간이진단을 실행한 후 필요에 따라서, 전문가 시스템 (expert system)에 의한 정밀진단을 실행하는 것이 가능하다.

본 연구에서는 현장에서 온라인으로 신호를 측정하고 분석하여 실시간으로 이상을 진단할 수 있는 이상진단 시스템의 개발에 관한 연구로서 1) 신호처리, 2) 신호분석, 3) 경향분석, 4) 이상진단부로 구성되어 있다. 신호처리 및 분석단계에서는 A/D변환기를 통해 설정한 채널로 자동적으로 진동신호를 측정하여, 기계의 운전상태를 알 수 있는 각종 선도를 출력한다. 입력된 신호를 분석한 결과를 이용하여 이상여부를 판별하며, 이상이라고 판별된 경우, 이상진단부에 의해 이상진단을 수행한다. 이상진단부에서는 진동수별 득점법과 fuzzy 이론⁽⁶⁾을 이용한 진단을 수행하여 이상원인을 추정한다. 또한 경향분석을 통해 기계상태를 감시하고 이상의 향후 경향 예측을 grey system^(7,8)이론을 이용하여 수행한다. 그리고, 본 시스템의 유용성을 기본적으로 검토하기 위한 실험장치를 구성하여 시스템 작동상황과 회전기계에서 발생할 수 있는 이상을 인공적으로 발생시켜 실험을 수행하였다.

2. 이상진동진단 시스템의 구성

2.1 하드웨어의 구성

본 이상진동진단시스템은 최근 널리 보급되고 있는 개인용컴퓨터와 신호취득을 위해 Data Translation사의 DT-2833 A/D변환기⁽⁹⁾를 사용하였다. Table 1은 본 시스템의 컴퓨터와 A/D변환기의 사양을 나타내고 있다. 윈도우환경하에서 작동하므로 메모리가 32MB이며 각종 선도를 통해 결과를 출력하므로 고해상도의 그래픽카드로 구성되어 있다. Fig. 1은 시스템 하드웨어의 구성도를 나타내고 있다. 8개의 입력채널과 1개의 외부 트리거신호 입력채널을 통해 신호가 입력되면 개인용컴퓨터 내부에 탑재된 A/D변환기를 통해 신호가 본 시스템에 입력하게 되

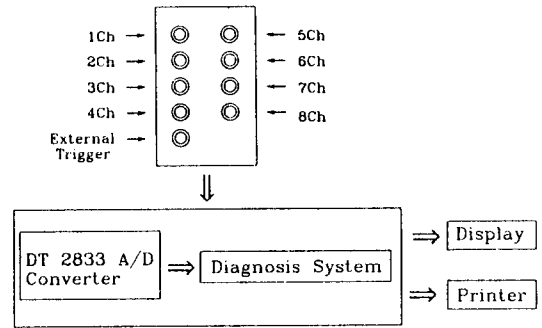


Fig. 1 System hardware

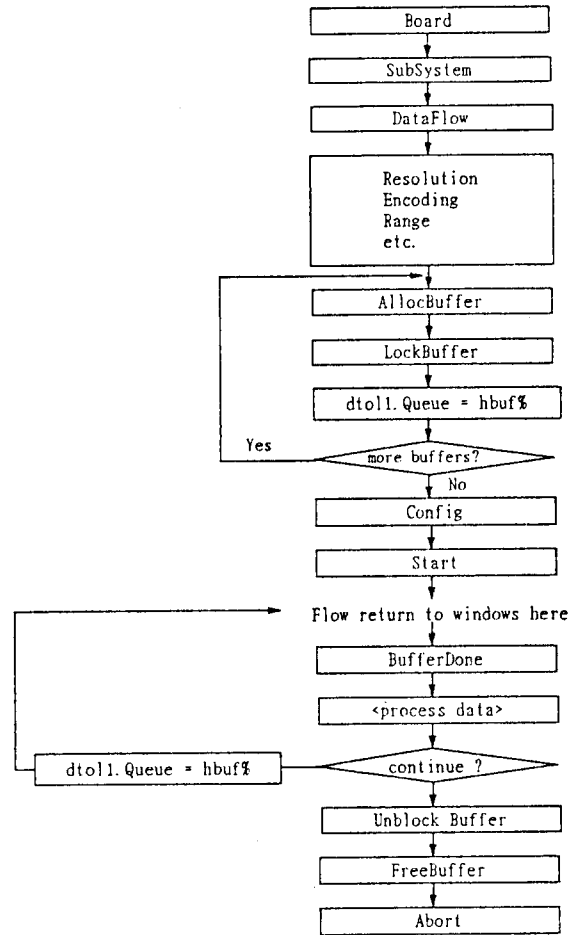


Fig. 2 Multi conversion

Table 1 System hardware configuration

Portable computer		A/D converter	
CPU	Pentium 100MHz	Model	DT-2833
MEMORY	32MB	Resolution	12bits
HDD	1.0GMB	Throughput	250kHz
DISPLAY	Super VGA	Channel	8 DI, SS&H

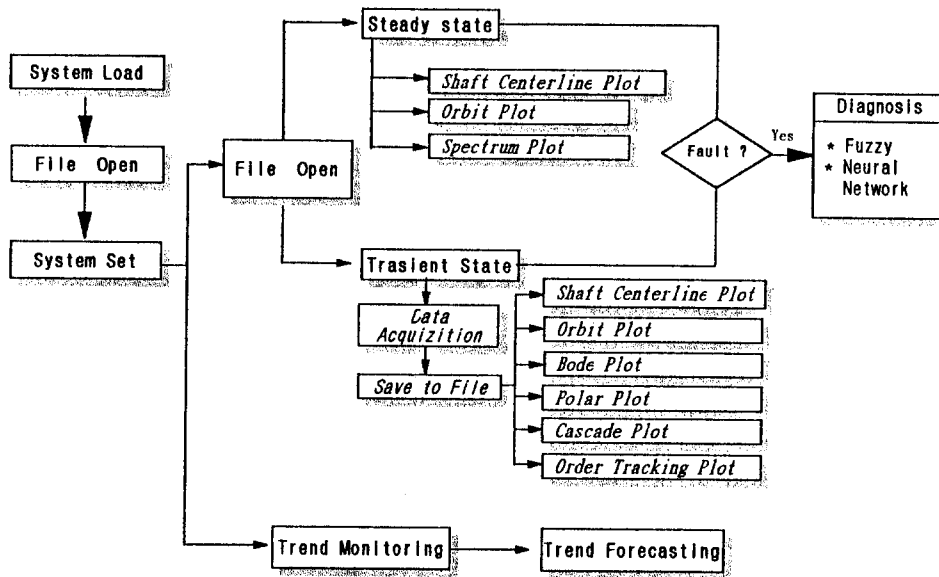


Fig. 3 System flow chart

며, 그 결과를 모니터와 프린터를 통해 출력할 수가 있다. A/D변환기는 12bit의 분해능으로 최대 250 kHz, 8채널 동시 샘플링이 가능하다.

2.2 소프트웨어의 구성

(1) 시스템 구성

본 시스템에서는 Fig. 2에서와 같이 처리속도를 향상시키기 위해 메모리 버퍼(memory buffer)를 이용하여 변환된 디지털신호를 처리하게 된다. Fig. 3은 시스템의 전체 흐름도이다.

(2) 파일의 구성

본 시스템의 파일구성은 각각의 시스템 설정과 운전상태에 따라 다음과 같이 확장자를 달리하여 6가지 형태의 파일을 관리한다.

- ① 모델설정파일 : *.set
- ② 정상상태 파일 : S*.sig
- ③ 주파수 파일 : S*.fr
- ④ 과도상태 파일 : T*.sig
- ⑤ 경향분석파일 : *.tre
- ⑥ 이상진단 파일 : *.dig

3. 이상진동진단시스템

본 시스템은 최근 발표된 Microsoft Window 95 환경에서 Visual Basic 3.0을 이용하여 동작하도록 개발되어졌다. 따라서 마우스를 통한 입출력이 가능한 GUI(Graphic User Interface)방식으로 구현된다.

Fig. 4는 본 시스템의 메인 윈도우를 나타내고 있다. 본 메인 윈도우에는 상단에 각 메뉴가 풀다운(pull-down)방식으로 구성되어져 있다. 화면의 상단 우측에는 현재의 시스템 작동시간, 그리고 현재 저장 가능한 데이터 파일 이름이 항상 출력된다. 그리고 화면 좌상단에는 자주 사용하는 메뉴를 아이콘화하여 사용자가 마우스를 통해 쉽게 입출력할 수 있도록 하였다.

3.1 파일

초기 시스템 동작시 untitled.set를 기본 값으로 읽어와 시스템이 출력한다. 사용자가 재설정했을 시

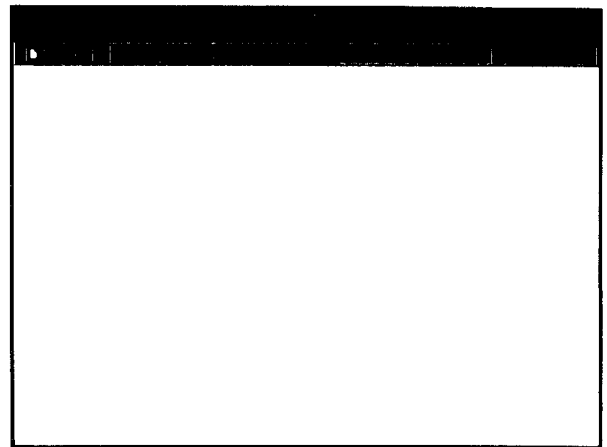


Fig. 4 Main window

는 다른 이름으로 저장메뉴를 선택하여 새로운 이름을 입력하면 지정한 파일이름으로 재저장된다. 윈도우 시스템은 윈도우에 등록된 모든 프린터 드라이브를 통해 출력이 가능하므로 본 시스템은 사용자가 설정한 프린터를 통해 출력이 가능하다.

3.2 시스템 설정

(1) 모델 입력

대상플랜트명, 대상설비명, 대상기기명, 시스템 특징등을 입력하게 되면, 창이 열릴 때 현재의 측정 일자가 자동으로 입력되며, 초기값은 항상 이전의 데이터가 자동으로 입력되어져 있다. 설정을 선택하면 입력한 내용들은 untitled.set파일에 저장되게 된다. 취소를 선택하면 입력이 취소되며 내용들은 untitled.set파일에 저장되지 않는다.

(2) 모델 설정

Fig. 5는 대상으로 하는 모델을 설정하는 창이다. 본 창은 마우스를 이용하여 사용자가 진단대상모델을 설정하게 된다. 상단과 하단으로 구별되며, 하단에는 구성요소들이 나열되어 있으며, 나열된 구성요소들을 사용자가 마우스로 이동시켜 상단의 대상모델 구성요소에 맞게 이동하면 된다.

(3) 채널 설정

모델설정이 완료된 후, 설정된 모델에 대해 신호 입력을 위한 채널 설정을 설정한다. Fig. 6과 같이 채널설정창이 열리면 모델설정을 통해 설정된 모델들이 다시 출력되며, 베어링 번호가 자동으로 출력된 결과를 보여준다. 상단에는 설정된 모델이, 하단에는 채널설정표가 나타난다. 채널설정을 변경하고자 하면 표에서 변경하고자 하는 채널번호를 마우스로 누르면 채널설정창 우측상단에 선택된 채널의 현재 설정 상태를 보여주며 창이 열린다. 각 채널을

설정하는 창에는 입력채널번호, 각 채널번호에 대해 센서위치, 센서종류, 센서각도를 마우스로 선택한 다음 ch#설정 버튼을 누르면 자동으로 채널설정창의 표에 입력되어 변경된다. 채널 설정이 완료되면 채널설정창에서 설정완료버튼을 누르면, 채널설정내용은 untitled.set에 자동 저장된다.

(4) 한계치 설정

한계치(threshold value) 설정은 각각 진폭비-진폭, 주파수-진폭, 위상, 시간-진폭 등을 각각 설정하게 되며⁽¹⁰⁾ 이는 향후 경향분석에서 경고레벨과 한계치로 이용된다. Fig. 7은 한계치 설정창을 보여준다. 한계치 설정메뉴를 누르면 각각 수정항목, 수정, channel, 인쇄, 종료의 메뉴를 가진 설정창이 열린다. 수정항목에서 수정하고자 하는 항목을 선택한 다음 새로운 설정값을 입력하는 창을 통해 수정할 수가 있으며, 수정된 후의 값을 바로 도식적으로 확인할 수 있다.

3.3 정상상태 운전

대상으로 하는 진단모델이 정상상태로 운전될 때

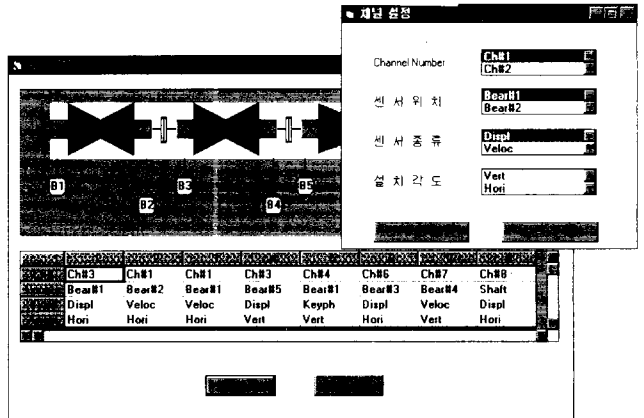


Fig. 6 Channel set

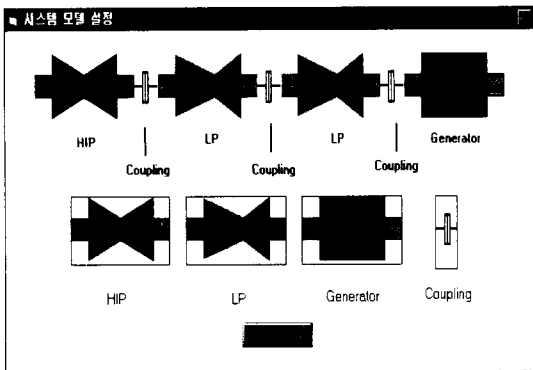


Fig. 5 Model set

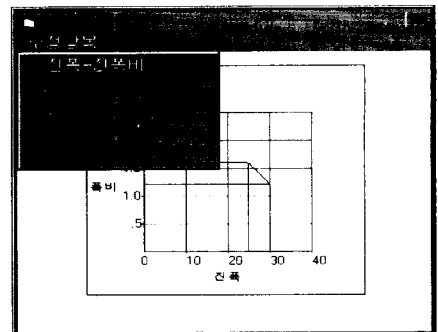


Fig. 7 Threshold value set window

의 진동신호를 분석할 수가 있다. 정상상태에서 분석할 수 있는 선도는 shaft centerline plot, orbit plot, spectrum plot 등이다.

본 내용들은 모두 untitled.sig 파일에 저장되며 각각의 선도는 독립적으로 메뉴를 구성하고 있다.

(1) 축중심 선도

축중심선도 (shaft centerline plot)는 현재 운전중인 축의 중심선 위치를 나타낸다. Fig. 8은 shaft centerline plot의 창을 보여준다. 그림에서 보듯이 상단에 각각의 메뉴와 창 우측에는 수직과 수평방향의 시간과형선도 그리고 좌측에는 축중심선도를 각각 출력한다. 창 하단에는 현재 초기 시스템 설정과 선도의 값을 읽을 수 있는 frame이 보여진다. Shaft centerline plot은 축의 중심선을 나타내기 위해 Gap voltage를 이용하는데, 이는 입력되는 신호를 주파수분석한 결과에서 주파수 0인 진폭값을 구함으로써

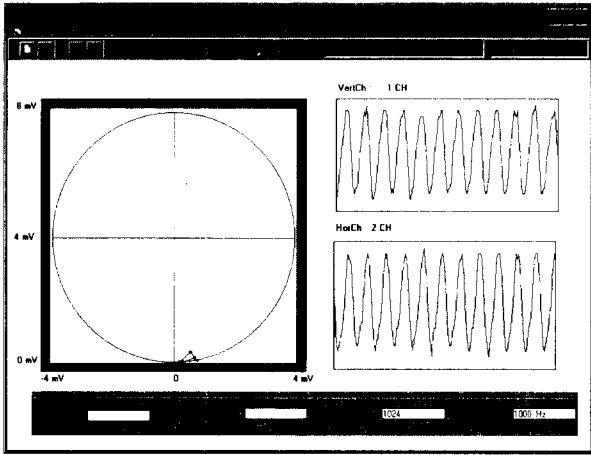


Fig. 8 Shaft centerline plot

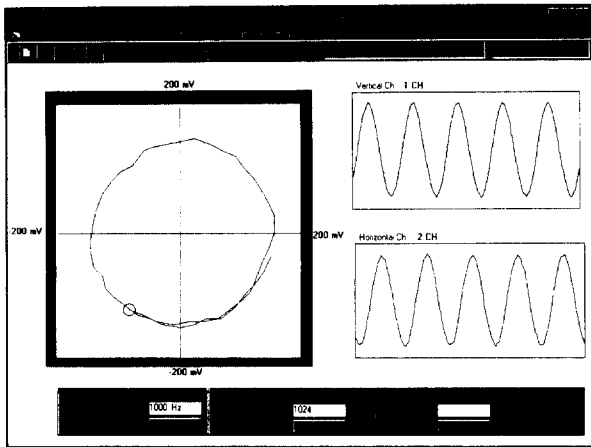


Fig. 9 Orbit plot at 1500rpm

DC성분을 구할 수가 있다.

(2) Orbit plot

Orbit 선도는 축의 궤적을 나타내는 선도로서 창의 우측에는 각각 X와 Y축 신호의 시간과형을 보여 주며 좌측에는 두 입력신호를 X축과 Y축으로 하여 축의 궤적을 출력한다.

Fig. 9는 1500rpm에서의 실험장치 축의 orbit plot을 보여주며, Fig. 10은 3500rpm에서의 orbit plot을 보여준다.

(3) 스펙트럼 선도

스펙트럼 선도 (spectrum plot)는 시간과형의 신호를 주파수분석한 결과를 출력한다. 사용자가 설정한 채널을 통해 입력된 신호를 각각 시간선도, 주파수선도, 시간과 주파수선도 등으로 출력하게 된다. Fig. 11에서 보는 것과 같이 화면 우측에는 현재의 설정상태를, 하단에는 커서를 움직임에 따라 입력값

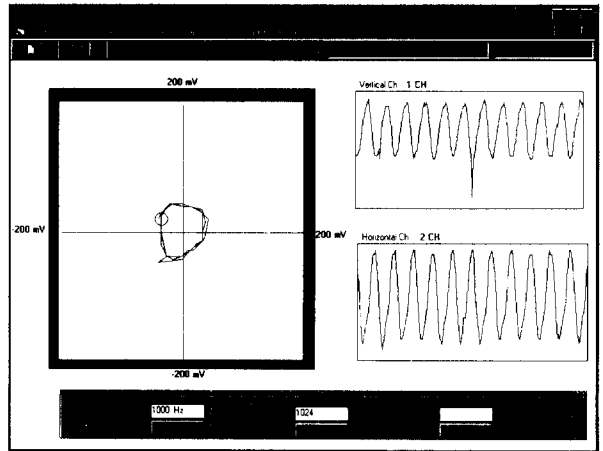


Fig. 10 Orbit plot at 3500rpm

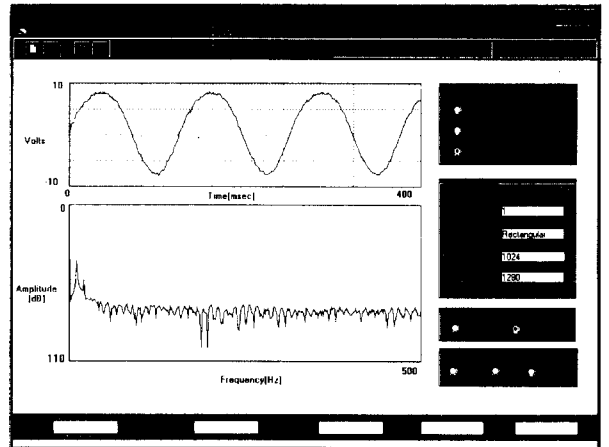


Fig. 11 Spectrum plot

들을 출력한다.

3.4 과도상태 운전

(1) 데이터 취득

Fig. 12는 데이터취득(data aquisition)을 위한 창을 보여주고 있다. 채널당 데이터 샘플링 속도, 샘플링 수, rpm interval 등을 사용자가 선택할 수 있다. Start를 누르면 현재의 속도와 샘플링현황을 보여주는 창이 열리며, 샘플링이 완료되면 파일에 자동으로 각 채널의 입력신호가 저장된다. Stop를 선택하면 동작중인 시스템이 동작을 정지하게 되고 파일에 저장한 후 닫히게 된다.

3.5 경향분석

경향분석에서는 각 입력채널에 대해 입력되는 값들을 사용자가 설정한 시간간격으로 취득하여, 선도에 출력하고, 각 채널의 경향예측을 grey system이론⁽⁸⁾을 이용하여 수행한다. 경향감시를 선택하여, 설

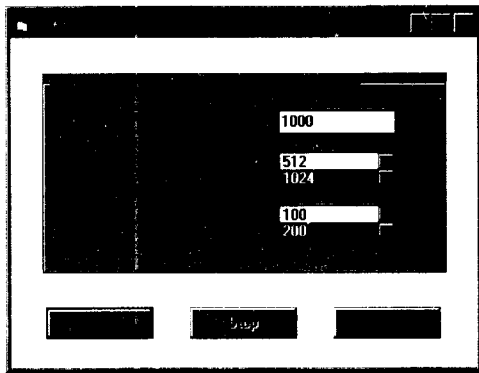


Fig. 12 Data acquisition window

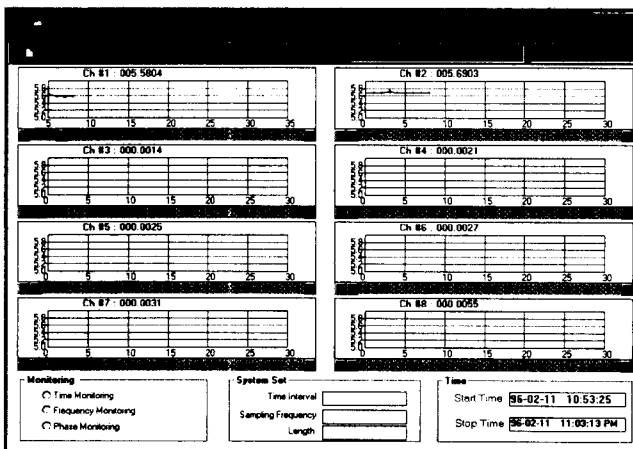


Fig. 13 Trend monitoring

정값을 설정해 시스템을 동작시키면, 입력값들은 자동으로 untitled.tre에 저장되고, 경향예측부에서는 untitled.tre파일에서 각 채널의 데이터를 불러와 경향예측을 수행한다.

(1) 경향감시

경향감시(trend monitoring)는 입력되는 신호를 사용자가 설정한 조건에 맞게 신호를 취득하여 계속적으로 출력한다. Fig. 13은 경향감시창을 나타낸다. 그림에서 보듯이 8채널 입력신호를 출력할 수 있는 8개의 경향감시 선도와 설정값 현황을 보여준다. 수행 가능한 경향감시 요소는 시간과형의 RMS값, 주파수성분의 overall값, 위상값등이다.

(2) 경향 예측

경향예측(trend forecasting)은 경향감시에서 만들어진 untitled.tre파일에서 각 채널의 경향데이터를

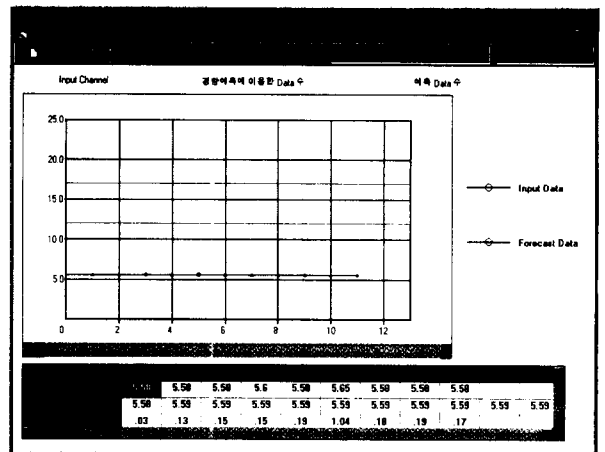


Fig. 14 Trend forecasting

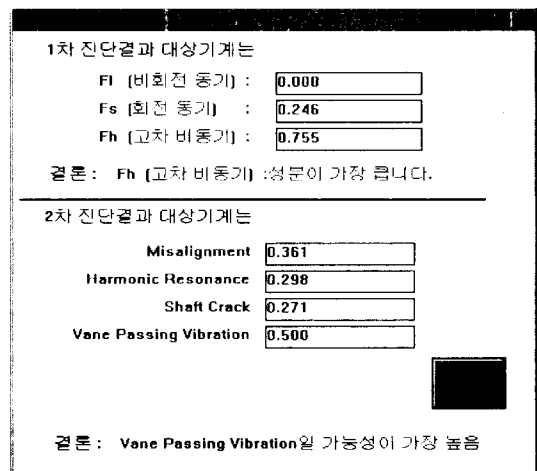


Fig. 15 Diagnosis result window with language

이용하여 경향예측을 수행한다. 먼저 경향예측을 수행할 채널을 선택하면 자동으로 총 데이터 수가 출력되고 이것이 이용가능한 데이터 수가 된다. 총 데이터 수에서 사용자가 경향예측에 수행할 데이터 수를 입력하고, 예측하고자 하는 데이터 수를 입력하여 설정을 선택하면 untitled.tre파일에서 이용하고자 하는 채널의 데이터가 이용하고자 하는 수만큼을 읽어드린다. 읽어들인 데이터는 grey system이론을 이용하여 경향예측을 수행하여 Fig. 14에서 보는 것과 같이 경향예측결과를 선도와 표로 출력한다.

3.6 이상진단

이상진동진단에서는 진동주파수 성분과 진동진폭에 대한 이상진동의 멤버쉽함수(membership function)를 고려하여, 멤버쉽 정도(membership grade)를 구하고, 퍼지 연산에 의하여 회전동기와 비동기 진동을 구별하는 1차진단을 수행한 후, 각각에 대한 진동진폭의 멤버쉽함수와 인과행렬(decision table)을 이용하여 보다 세분된 2차 진단을 수행하는 2단계 fuzzy 진단방법⁽⁶⁾을 이용한다.

채널을 선택하는 창을 통해 채널을 선택하면 각 채널의 데이터가 자동으로 입력된다. 채널설정이 완료되면 진단과라메터를 설정하게 되며 설정이 완료되면 진단결과가 출력된다. 진단결과는 Fig. 15와 같이 언어적 결과와, Fig. 16과 같은 도식적 결과를 동시에 출력한다.

3.7 도움말

현재 도움말은 주메뉴에 대하여 간단하게 동작한다. F1키를 누르는 경우 이상진동진단시스템의 도움

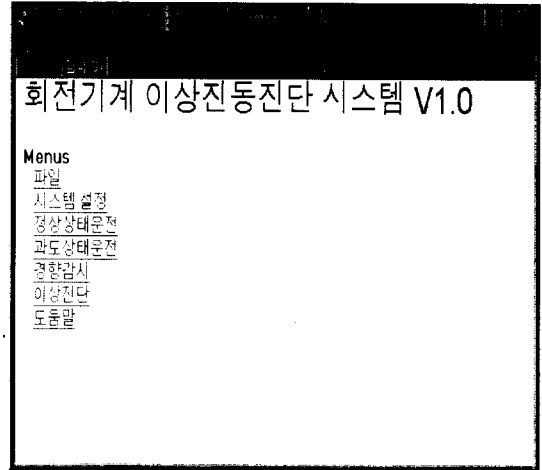


Fig. 17 Example for help

말이 현재의 윈도우에 부메뉴에 나타난다. 도움말의 예가 Fig. 17에 나타난다.

4. 결 론

본 연구에서는 A/D Board를 이용하여 회전기계의 진동신호를 취득, 분석, 이상판별 및 이상진단 등의 단계로 구성되는 선도를 이상진단 시스템을 구축하였다. A/D Board를 이용한 회전기계의 진동신호를 분석하고, 각종 선도를 통한 기계상태의 분석, 경향감시 및 예측, 간이 이상진동진단을 수행하였다. 향후의 연구는 각종 선도의 scale 자동조정, 위상분석, 과도상태 신호 입출력, 파일 입출력, 정밀진동진단 등에의 확장을 들 수 있다.

후 기

본 연구는 1994년도 교육부 학술연구조성비(기계공학분야 : ME94-D-02)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 豊田利夫, 1993, 回轉機械診断の進め方, 日本 maintenance協會.
- (2) S. Hisa et al., 1989, Vibration Diagnosis for Large Steam Turbine Rotor 12th Conf. on Mechanical Vibration and Noise, ASSME, pp. 7 ~14.
- (3) M.P. Boyce, et al., 1983, On-Line Monitoring

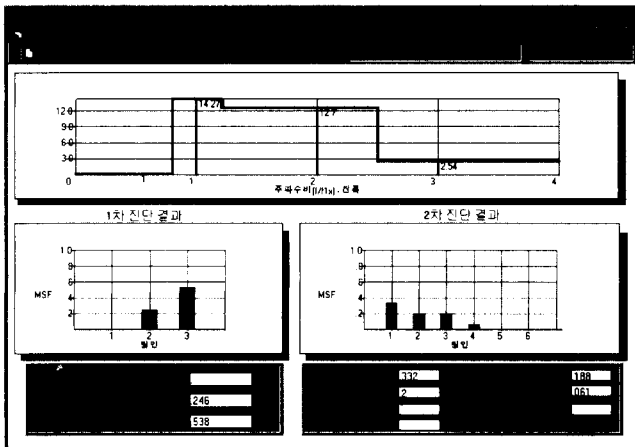


Fig. 16 Diagnosis result window with graph

- and Diagnostics of Power Plants, EPRI Report CS-2920, pp. 3.19~3.53.
- (4) 佐藤一夫 등, 1984, 大型回轉機械の振動診斷法, 日本機械學會論文集 C, Vol. 50, No. 449 pp. 106-114.
- (5) C. Jackson, 1990, The Practical Vibration Primer, Gulf Publishing Co., Houston, USA.
- (6) 양보석, 전순기, 1996, 퍼지이론을 이용한 회전 기계의 진동진단법, 대한기계학회 논문집 제20권 제5호, pp. 1411~1418.
- (7) Deng Julong, 1991, Introduction to Grey System Theory, Journal of Grey System, pp. 1~24.
- (8) 장우교, 양보석, 1994, Grey System 이론을 이용한 기계상태의 경향예측, 대한기계학회 추계 학술대회 논문집 pp. 630~634.
- (9) Data Translation, Data Aquisition Programming Tools, Data Translation Co., 1994.
- (10) James E. Berry, 1994, Concentrated Vibration Signature Analysis and Related Condition Monitoring Techniques, IRD Mechanalysis.
- (11) Hyong S. Chun, 1995, Rotating Machinery Vibration and Predictive Maintenance (PdM), UVCon Engineering.
- (12) P.M. Embree and B. Kimble, 1991, C. Language Algorithms for Digital Signal Processing, Prentice-Hall Co.
- (13) 전병선, 비주얼 베이직 3.0, 삼양출판사, 1995.
- (14) Microsoft Co., Visual Basic 3.0, User's Guide, Reference Guide, 1994.