

## 스팀터빈 발전기 진동진단 시스템 개발

이 안 성<sup>1</sup>, 홍 성 욱<sup>2</sup>, 김 호 종<sup>3</sup>, 이 현<sup>4</sup>

### Development of a Vibration Diagnostic System for Steam Turbine Generators

An Sung Lee<sup>1</sup>, Seong-Wook Hong<sup>2</sup>, Ho Jong Kim<sup>3</sup>, Hyun Lee<sup>4</sup>

#### 1. 서 론

증가하는 전력수요의 충당을 위해 발전설비는 대용량 고출력화 되고 있으며, 높은 효율과 함께 단위 증량당 출력을 높이기 위하여 스팀터빈 발전기의 회전체 길이가 대단히 길어지는 유연 회전체/베어링계로 설계·제작되고 있다. 따라서, 정격회전속도에 도달할 때까지 회전체는 여러개의 위험속도를 통과해야 하며 각종 진동에 보다 광범위하고 심각하게 노출되고 있다.

일반적으로, 스팀터빈 발전기는 특정 설계점 또는 정격 운전조건에서 안정된 진동특성을 가지며 최적운전을 하도록 설계되고 있다. 그러나, 현재 전력수요의 특징은 주야간, 주중과 주말, 그리고 계절별 최고치에 현저한 차이가 있다는 점이다. 즉, 스팀터빈 발전기는 소위 일간 기동정지(Daily Start and Stop)와 주간기동정지(Weekly Start and Stop), 그리고 여름철의 상황별 급전지시에 따른 급속부하조정 등으로, 설계점을 벗어난 과도운전상태에서 보다 많이 운전되게 되었다. 따라서, 설비의 수명이 단축됨은 물론 예기치 못한 돌발 진동사고의 발생 가능성이 높아져, 설비의 보전이 보다 어렵게 되었다. 이와같은 상황에서, 전력의 안정적 공급을 위해서는, 발전설비의 핵심을 이루는 스팀터빈 발전기의 운전상태를 상시감시하여 돌발 진동사고를 예방하고, 사고발생시 신속·정확한 조치 및 보수를 통해 설비의 가동효율을 높이는 설비보전기술의 확립이 중요하다.

회전기계의 진동 특성문제에 관련해서는 그간 방대한 연구가 수행되어 왔다. 특히 진동원인 및 현상에 관한 많은 연구결과가 제시되어 왔으며[1-5] 이를 근거로 한 진동진단 인과관계표도 구성되어 발표되었다 [6-8]. 그러나 국내외에서 이미 발표된 진동진단 인과관계표들은 현

장에서 손쉽게 적용될 수 있도록 포괄적이지 않거나 운전조건이나 상태변화 등 스팀터빈의 이력사항 등을 폭넓게 고려할 수 있도록 구성되어 있지 않다. 또한 현장에서 문제점을 즉시 파악할 수 있도록 하는 진단원인 검색 시스템등이 제공되지 않아 활용에 어려움이 있어왔다.

본 연구에서는, 스팀터빈 발전기의 진동사고 발생시 현장에서의 신속한 1차적 진단과 함께 차후 상세한 정밀진단에 도움이 될 수 있도록, 기존의 발표문헌들을 체계적으로 분석하여 스팀터빈 발전기의 종합진동진단을 위한 인과관계 진단표를 새롭게 구성하였고, 이를 토대로 대화식 진동진단 시스템을 개발하였다. 그리고 현장에서 얻어진 몇가지 사례에 시험적으로 적용한 결과 매우 유용하게 활용할 수 있음을 알 수 있었다.

#### 2. 진동특성분석

스팀터빈 발전기의 진동진단을 위한 기초자료로서, 대표적인 스팀터빈 발전기의 진동원인들을 조사, 분석하였으며 가장 빈발하는 진동원을 중심으로 특성을 정리하였다.

##### 2.1 불균형 진동

불균형 진동은 회전체의 질량중심이 회전중심으로 부터 벗어날 때 작용하는 원심력이 회전체계를 정현파 가진하여 발생.

- 진동 주파수가 1X인 동조(Synchronous) 진동, 진폭은 불균형양에 비례. 진폭은 회전속도에 비례하여 증가.
- 위상은 일정 회전속도에서 안정됨. 출력, 진공도 등이 변하여도 일정하게 유지.
- 회전속도변화에 대한 재현성이 있음. 진폭-회전속도, 위상-회전속도의 관계가 재현됨.
- 동방축계에서의 선회궤도는 원형(비동방축계에서는 타원형임), 회전방향으로 선회.

##### 2.2 열특성 진동

발전기의 발열량 또는 냉각효과가 국부적으로 불균일하거나 회전체의 재질, 가공제작 등에 비대칭성의 존재 또

1 한국기계연구원 회전체 연구그룹  
 2 금오공과대학교 정밀기계공학과  
 3 한국중공업(주) 기술연구소 진동연구실  
 4 한국전력연구원 기술연구소

는 회전체 표면의 손상이 있으면 열특성의 차이로 회전체가 변형하면서 진동 발생.

- 진동주파수가 1X로서 불균형에 의한 진동과 유사함.
- 진동 절대치가 장기적이고 점진적으로 변화
- 부하, 스티프조건, 스티프밀봉조정, 계자전류, 냉각개스의 온도 및 압력, 그리고 윤활유의 입구온도 등 운전조건의 변화에 민감.

### 2.3 Rubbing 진동

운전중 회전부가 정지부와 접촉하는 것을 의미하며 대체로 다른 기계고장의 2차적 증상으로 발생. 접촉부의 국부과열에 따른 축의 굽힘으로 회전체가 불균형되어 고진동으로 발전함. 매우 비선형적이며, 흔히 불규칙적인 증상 수반. 초기조건 및 시스템 매개변수의 변화에 크게 민감한 과도적인 거동특성을 나타냄. 스티머터빈에서 주로 관측되는 Rubbing의 대표적 특성은 다음과 같이 요약됨.

- 진폭 및 위상이 크게 변하며 재현성이 없음.
- 진폭은 산형을 이루며, 주파수는 1X, 2X, 그리고 Higher Harmonic 성분이 현저함.
- 위상은 회전반대방향으로 선회.

### 2.4 Misalignment 진동

스팀터빈에서의 Misalignment는 베어링온도를 과도하게 높게 하거나 베어링의 Oil Whip/Oil Whirl 발생, 베어링과 시일이나 커플링을 마모/파손시키게 되고 정렬불량이 심각한 경우에는 축의 균열 등을 야기. Misalignment 진동의 특성은 다음과 같이 요약됨.

- 반경방향 진동과 함께 비교적 큰 축방향 진동을 수반
- 진동의 주성분은 1X이며, Misalignment이 크면 2X 또는 3X 성분이 발생.
- 위상이 불안정.

정렬불량(Misalignment)을 감지하기 위해서는 앞서 기술한 진동 특성의 진단과 더불어 다음과 같은 항목을 검토하는 것이 효과적임.

- 베어링의 고온여부나 베어링 시일의 지나친 누유여부
- Shim의 녹, 페인트, 헐거움 등의 점검
- 기초 Grouting 또는 콘크리트의 균열여부
- 기초 볼트의 체결점검: 정기적 이완여부, 현재상태
- 배관의 Hanger, Expansion Joint, Flange Bolt의 점검
- 커플링 볼트의 체결, 마모, 피로 여부, 파손횟수 점검
- 부하축 베어링 주위의 축 균열 여부
- 전 베어링에 대한 축 중심선 점검

- 궤도형상점검 : 비정상 Preload의 여부 등

### 2.5 Oil Whip/Whirl

저어널 베어링에서 베어링 하중이 작아 저어널의 회전에 따른 유막의 지지력과 불균형이 발생하게 되면, 저어널은 큰 진폭을 가지고 부상낙하를 반복적으로 계속하게 되는데 이를 유막에 기인한 불안정 진동이라 하며 축회전수의 1/2(일반적으로, 0.4X~0.49X)의 주파수를 가짐. 진동주파수가 1차 위험속도보다 낮은 경우를 Oil Whirl이라 하며 축회전수가 증가하여 진동주파수가 1차 위험속도에 도달, 자려진동으로 발전한 경우를 Oil Whip이라 함. Oil Whip의 기본적인 특성은 다음과 같이 요약됨.

- 축의 회전수가 1차 위험속도의 2배에 도달했을 때 발생, 회전수가 증가해도 진동이 사라지지 않음. 회전체가 크게 진동하며, 베어링 파손과 회전체 자체의 손상 야기
- 진동주파수와 모드는 회전체계의 1차 위험속도에서와 일치하며, 축회전수가 변하여도 변하지 않음.
- 회전체의 중심은 축의 회전방향으로 선회.
- 부하가 작을수록 더욱 쉽게 진동이 유발.

### 2.6 Steam Whirl

회전체에 작용하는 스티프력에 의해 부하에 의존하는 자려진동이 스티머터빈의 고압(HP) 회전체에서 발생. 자려진동을 유발하는 힘은 스티프 속에서 편심되어 회전하는 회전체의 작용에 의해 발생하며, 주로 유체력이 회전체의 탄성력보다 상대적으로 큰 조건하에서 발생. Steam Whirl 진동의 특징은 다음과 같다.

- 베어링 특성에 의해 발생하는 Oil Whip과 유사함. 회전체계의 고유 진동수에서 회전방향으로 선회.
- 1 차 위험속도의 2배 이하에서도 발생하고, Tilting Pad 베어링을 사용하는 회전체에서도 발생.

### 2.7 내부마찰진동/Hysteresis Whirl

축과 부속물 사이의 조립상태가 불안정하면 반복굽힘이 작용할 때 축표면은 신축하고, 디스크 내경에서 미끄럼이 일어나 마찰 발생. 커플링으로 결합된 회전체에 Misalignment이 작용하거나 윤활이 불량한 경우에도 마찰이 발생. 내부 마찰진동과 Hysteresis Whirl은 동일한 원인에 의해 야기되는데 그 특징은 다음과 같다.

- 내부마찰진동은 Subsynchronous 진동으로, 축의 회전방향으로 선회.
- 회전체계의 회전수가 1차 위험속도보다 낮을 경우 내부마찰은 양의 감쇠작용을 하나, 1차 위험속도보다 높은 경우는 불안정 야기.

- 베어링이나 기조 등의 외부 감쇠가 작고, 축의 회전수가 1차 위험속도를 넘어 증가할 경우, 내부마찰은 Hysteresis Whirl의 자려진동 유발.

### 2.8 베어링 급유부족 진동

베어링 급유부족에 의한 진동은 오일과 함께 유입된 공기가 유막압력에 의해 파괴되면서 급격한 용적변화를 일으키고, 그 결과로 유막의 압력변동이 유발되어 발생.

- 대형 저어널 베어링을 사용하는 회전체에서 발생.
- 회전수가 증가함에 따라 진동이 난점형태로 발생. 진폭이 증가.
- 진동주파수는 일정치 않으나, 위험속도 주위의 주파수 성분이 크면 진동이 불안정해짐. 급유량이 부족할수록 맥동성분이 커짐.

### 2.9 축균열 진동

축에 균열이 발생하면 축강성에 비대칭적 특성이 발생하면서 다음의 진동특성이 나타남.

- 1X 성분의 진폭 및 위상이 회전수, 부하, 계자전류, 스태프조건에 따라 변화, 며칠 또는 몇주의 시간경과에 따라서도 변화.
- 밸런싱효과가 불규칙적으로 나타남.
- 저속에서의 변위벡터(Slow Roll Vector)의 변화 관측.
- 대부분의 경우에서(75%이상), 1X 진동만이 운전속도에서 나타남.
- 균열에 따른 축의 강성 비대칭으로 2X 성분의 진폭 및 위상변화가 관측됨. 축회전수가 위험속도의 1/2 이될 때 2X 성분의 진폭 및 위상변화가 크게 발생.

표 1 주파수, 발생속도, 진폭, 위상(진동진단 특성매개변수)의 분류

진동주파수	발생운전속도	진폭변화	위상변화
1. 1X	1. 전속도	1. 불변	1. 안정
2. 로터/베어링계 위험속도	2. 위험속도 이하	2. 점중, 장기변화	2. 일시적 변화, 변화후 안정
3. 2X, 3X, 4X	3. 위험속도 이상	3. 급중, 고진동	3. 역전변화, 회전반대방향
4. 1/2X, 1/3X, 1/4X, 0.3X~0.8X	4. 위험속도의 2배 이상	4. 불규칙	4. 연속, 장기변화 불안정, 운전조건/상태변화에 따라 변화
	5. 위험속도의 1/2배		
	6. 위험속도의 3배		

## 3. 진단표의 구성

앞에서 열거한 진동원을 특징지을 수 있는 진동특성은 주파수, 발생속도, 진폭, 위상특성 등으로 파악할 수 있다. 표 1은 주파수, 발생속도, 진폭, 그리고 위상에 따른 진동진단 특성매개변수들에 대해 앞에서 열거한 진동특성분석 결과를 토대로 그 특성에 따라 분류한 항목을 보여주고 있다.

스팀터빈 발전기 진동의 큰 특징의 하나는, 각 발생 진동이 대응하는 운전조건 또는 상태변화들과 밀접하게 연계되는 고유한 특성을 가지고 있다는 점이다. 표 2는 운전조건/상태변화에 따른 진동진단 매개변수의 분류를 보여주고 있다. 표 1, 2의 진단 특성매개변수들과 각 대응진동을 연계시킨 인과관계가 표 3의 종합 진동 진단표로 구성되어 있다. 표 1, 2, 3의 일부 항목이 ( , )로 연결되어 있는데, 이는 OR의 개념으로 해석된다. 또, 표 3에 보여지는 ( - )는 해당 매개변수군이 대응진동의 진단에 크게 활용되지 않음을 나타낸다. 한편, 각진동의 대표적 특성을 간략하게 정리하여 진단 특성매개변수의 선정 또는 진단결과의 검증에 활용할 수 있도록 하고, 아울러 운전조작 및 대책을 정리하여 현장에서의 응급조치시 참고가 될 수 있도록 하였다.

표 2 운전조건/상태변화의 분류

운전조건 / 상태변화	
1. 회전수	11. 베어링 메탈온도
2. 부하	12. 베어링 형식
3. Alignment, 커플링	13. 로터, 케이싱의 팽창/팽창차
4. 스태프압력	14. 로터의 조립/끼워맞춤
5. 스태프온도	15. 여자전압/전류
6. 가감밸브 개도상태	16. 발전기 개스온도
7. 콘덴서, 터빈케이싱의 진공도	17. 계통교란 (Line Shock)
8. 배기실 온도	18. 정상 운전상태
9. 베어링 급유압력	19. 기동 운전시
10. 베어링 급유온도	20. 운전 정지시

## 4. 진단 프로그램의 개발

### 4.1 진단 알고리즘

주어진 조건에 대한 검색에 있어 특이한 점은 특성 매개변수 중 일부가 선정되지 않았을 경우 주어진 변수만으로 대응되는 진동원인을 찾을 수 있도록 구성되어야 한다는 점이다. 실제 진단을 행해야 할 시점에서 해당 매개변수를 모두 파악할 수 없는 경우가 많다는 점을 고려할 때 이같은 내용은 특히 그 중요성이 있다.

먼저 주어진 진단표에 의해 15가지 진단결과 각각에 번호를 부여하고 5개의 특성매개변수 조건이 주어졌을 때 대응되는 경우를 각각 행벡터로 취하여 행렬로 구성하였다. 이때 해당 매개변수가 진단에 활용되지 않는 경우, 즉 (-)로 표시되는 것에는 매개변수 값으로 0을 부여하여 진단 프로그램에서 검토하지 않을 수 있도록 배려했다. 한편 특성매개변수가 주어지면 이것을 벡터로 구성하여 미리 구성한 진단행렬의 행들과 대응시켜 동일한 벡터가 되는 경우에 해당되는 진단결과를 모두 도출할 수 있도록 하였다. 특정한 매개변수가 주어지지 않은 경우에는 해당되는 성분들을 제외한 벡터로서 비교하였다.

실제적으로 이상과 같은 진단논리를 적용시키게 되면 대부분 복수개의 진단결과가 도출되게 된다. 특히 매개변수 일부를 진단에 사용하지 않게 되는 경우에는 여러개의 진단결과가 예상되는데 이때 복수개의 진단결과를 분석할 수 있도록 각각의 진단결과에 대해 표4.1-4.4에 주어진 진동특징과 대책 등을 차례로 열거하여 2차적인 분석이 가능하도록 하였다.

#### 4.2 진단 프로그램

본 진단 프로그램은 현장에서 손쉽게 활용할 수 있도록 저기능의 PC에서도 운용되는 프로그램으로 개발하였으며 초보자가 손쉽게 사용 가능하도록 모든 기능을 메뉴 방식으로 처리하였다. 또한 화면에 표시되는 모든 내용을 한글로 처리하였다.

그림 1은 진단 프로그램을 실행하였을 때 나타나는 초기 화면이다. 화면의 상단에는 Pull down메뉴가 준비되어 있으며 하단에는 검색에 필요한 추가적인 고정메뉴가 있음을 알 수 있다. 프로그램은 크게 두가지의 화면상태를 갖는다. 즉 매개변수값을 입력하는 화면과 입력된 매개변수 값을 이용해 진단한 결과를 보여주는 화면으로 구성된다. 그림 2는 매개변수값 입력화면으로서 첫번째 진단매개변수인 진동주파수를 선정하였을 때 화면우측에 해당되는 4가지 조건을 보여주고 있는데 이때 해당 조건을 진단매개변수 개수에 대해 선정한 후 하단에서 선정 완료 단추를 선정하면 진단알고리즘을 통해 대응되는 진단결과를 얻게 되며 진단결과 검색화면을 보여준다. 그림 3은 검색결과를 보여주는 화면으로서 앞에서 선정된 조건에 의해 대응되는 진단결과를 차례로 보여주게 된다. 여기서는 예상되는 진단결과와 이때의 진동특징, 그리고 일반적인 대책을 동시에 보여주게 되어 복수개로 선정된 진단결과에서 보조적인 정보를 통해 최종 진동원을 확인할 수 있도록 하였다.

표 3 종합진동진단표

진동 주파수	발생 운전 속도	진폭 변화	위상 변화	운전 조건/상태 변화	진원 인 판 별
1	1	1	1	1	불균형 진동
1	1	3	2	1, 18, 19, 20	
1	1	2	1, 4	1	
1	1	2	1, 4	2, 5, 15, 16, 20	
1	1	3	3, 4	2, 15	
1, 2, 3, 4	1	3, 4	3, 4	1, 2, 3, 5, 7, 8, 13, 16, 19	Rubbing
1, 3	1	2, 3, 4	4	1, 2, 3, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 16, 17, 18, 19, 20	Misalignment
4	3	3, 4	-	1, 2, 3, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 19	불안정 진동
2, 4	4	3, 4	-	1, 2, 3, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 19	
2, 4	3	3	-	2, 4, 6, 9, 10, 11, 12	
2, 4	2	3, 4	-	1, 2, 14, 19	
2, 4	3	3, 4	-	1, 2, 14, 19	
1, 2, 4	3	3, 4	-	1, 9, 10, 11, 18, 19	베어링 급유부족
1, 2, 3	1, 5	2, 3	1, 4	1, 17, 18, 19, 20	축 균열
4	6	3, 4	-	1, 19	베어링 저어닐의 혈 거 움

### 5. 적용사례 및 토론

#### 5.1 적용사례 1

터빈에서 갑작스런 진동이 주기적으로 발생한 사고로, 기록상의 진동현황을 검토하면 다음과 같다.

- 기록지상에 그려진 진폭이 모두 산형상을 이루고 있다.
- 60 Hz의 동조 신호 성분이 우세하고, 30 Hz Subharmonic과 120Hz Higher Harmonic 성분이 존재한다.
- 위상이 불안정하며, 회전체의 회전 반대방향으로 선회하고 있다.

이에 대하여 진단시스템에 입력한 진단 특성매개변수의 조합과 그에 따른 진단결과가 표 5.1에 정리되어 있다. 표 5.1에서 Rubbing의 진동원인 가능성이 가장 유력하게 제시되고 있으며, 기록상의 진동현황과 진단시스템상에 정리되어 있는 진동특성(또는, 표4.1-4.4)을 종합검토하면 Rubbing이 진동원인으로 진단된다. 한편, 이는 진동분석 보고서상의 Rubbing 진단결과와 일치하여, 진단 시스템을 이용한 진단가능성이 보여진다.

표 5.1 특성매개변수의 조합과 진단결과: 적용사례 1

진동 주파수	진폭 변화	위상 변화	진단 결과
1X	급증	회전반대방향	· Magnetic - 불균형진동 · Rubbing
1X	급증	불안정	· Magnetic - 불균형진동 · Rubbing · Misalignment · 베어링 급유부족 · 축 균열
1/2X	급증	회전반대방향	· Rubbing
2X	급증	회전반대방향	· Rubbing

5.2 적용사례 2

터빈의 진동이 1, 2차례에 걸쳐 돌발급증(Step Change)하여 운전정지에 이른 사고로, 기록상의 특징은 다음과 같다.

- 1X Synchronous 진동성분이 최대이다.
- 진폭이 Step Change하였고, 위상이 변화한 후 안정을 유지하였다.
- 진폭의 Step Change시 베어링 급유온도, 베어링 메탈 온도, 출력, 증기조건에 변화가 없었다.

표 5.2 특성매개변수의 조합과 진단결과: 적용사례 2

진동 주파수	진폭 변화	위상 변화	진단 결과
1X	급증	변화후 안정	· 회전부품의 탈락 - 불균형진동 · 베어링 급유부족

이에 대하여 진단시스템에 입력한 진단 특성매개변수의 조합과 그에 따른 진단결과가 표 5.2에 정리되어 있다. 표 5.2에서 회전부품의 탈락에 따른 불균형, 또는 베어링 급유부족이 진동원인으로 제시되고 있다. 여기서, 프로그램 상에 정리되어 있는 두 진동의 특성과 기록상에 진동들변시 베어링 등의 운전조건에 변화가 없었던 점을 종합하면, 회전부품의 탈락에 기인한 불균형이 진동원인으로 최종진단된다. 한편, 진동분석 보고서에는 터빈회

전체 부품의 절손탈락에 기인한 중량 불균형이 진동원인으로 분석되어 있다.

5.3 적용사례 3

터빈의 시운전시 진동이 완만히 상승한 후 고진동으로 발전한 사고로, 기록상의 진동현황을 검토하면 다음과 같다.

- 무부하 1800 RPM에서 장시간 운전하였으며, 운전중 Reheater를 정지시켰다. 이때 스팀온도에 큰변화가 초래되었다.
- 운전조건의 변화 2~3 시간후 진동상승이 관찰되었다.

이에 대하여 진단시스템에 입력한 진단 특성매개변수의 조합과 그에 따른 진단결과가 표 5.3에 정리되어 있다. 표 5.3에서 진단시스템은 회전체의 열특성에 따른 불균형, Misalignment, 그리고 Rubbing을 가능한 진동원인으로 제시하고 있다. 한편, 진동분석 보고서는 터빈의 장시간 무부하 운전과 Reheater의 정지에 따른 스팀온도의 변화로, 회전체가 수축, 팽창 및 열급힘(열특성 불균형에 속함)을 일으켜 진동이 서서히 상승하였고, 마침내 고진동으로 발전하여 Rubbing이 발생한 것으로 종합분석하고 있다.

표 5.3 특성매개변수 조합과 진단결과: 적용사례 3

진폭 변화	운전 조건 / 상태 변화	진단 결과
장기변화	스팀온도	· 로터 열특성 - 불균형진동 · Misalignment
고진동	스팀온도	· Rubbing · Misalignment
고진동	로터, 케이싱의 팽창차	· Rubbing · Misalignment

이상에서, 실제 스팀터빈 진동사고의 원인진단에 개발된 대화식 진단시스템을 사용하여 가능한 진동원인들을 대분류하고 이들을 검토·분석함으로써, 현장에서 신속한 1차적인 진동진단이 가능함이 확인되었다. 특히, 본 진단시스템에서는 진단 특성매개변수의 모든 항목을 선정할 필요없이, 현장에서 입수가 가능한 대표적 진동현황 또는 특성만을 입력하여 진동진단의 수행이 가능한 것이 특징이다. 따라서, 무리한 진단결과와 도출을 피하고 가능한 진동원인을 복수개로 제시할 수 있기 때문에, 개발된 진단시스템이 초심자 뿐만 아니라 전문가의 초기 진동진단에 크게 활용될 수 있을 것으로 보인다. 또한, 각 설비마다의 고유특성 및 이력을 진단시스템에 포함시켜 설비전용의 버전을 완성시키면, 보다 효과적인 진동진단

시스템이 될 것으로 예상된다.

## 6. 결론

스팀터빈 발전기의 주요 진동현상을 분석종합하여, 진동진단 시스템을 개발하였다. 진동진단 특성매개변수를 주파수, 발생속도, 진폭, 위상, 그리고 운전조건/상태변화에 따라 체계적으로 분류하였으며, 이를 인과관계에 따른 대응 진동원인과 연계시켜 종합진동진단표를 구성하였다. 아울러, 진단 특성매개변수의 선정 및 진단결과의 검증과 현장에서의 응급조치시 도움이 될 수 있도록, 각 진동별 대표적 특성과 운전조작/대책을 표로 작성하였다. 구성된 진단표를 토대로, 현장에서 노트-북 PC 등을 활용한 손쉬운 진단이 가능하도록, 대화식 스팀터빈 발전기 진동진단 시스템을 개발하였다. 개발된 진단시스템에서는 현장에서 입수가 가능한 일부 대표적 진동현황 또는 특성만을 입력하여도 진단이 가능하도록 로직이 구성되어 있다. 한편, 개발된 진단시스템을 실제 스팀터빈의 사고사례에 적용하여 시험운용하였으며, 시험결과가 보고서의 분석결과와 만족스럽게 일치하였다. 따라서, 개발된 진단시스템을 활용하여 스팀터빈 발전기의 가능한 진동원인들을 반복해서 분류하고 이들을 검토·분석함으로써, 신속한 1차적인 진동진단이 가능한 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. Jackson, Charles, 1979, The Practical Vibration Primer, Gulf Publishing Company.
2. Rao, J. S., 1983, Rotor Dynamics, A Halsted Press Book, Chap. 4-6 or pp 219-225.
3. Vance, J. M., 1988, Rotordynamics of Turbo machinery, John Wiley and Sons.
4. B & K, 1982, Measuring Vibration, B & K Booklet, pp36-37.
5. Bently Nevada, Orbit Magazines과 그 밖의 간행물.
6. Piotrowski, J., 1986, Shaft Alignment Handbook, Marcel Dekker, Inc.
7. 中島秀雄 외 4인, 1987, "Rotor Vibration Diagnosis System for Large Steam Turbine," 火力 原子力発電, Vol. 38, No. 12.

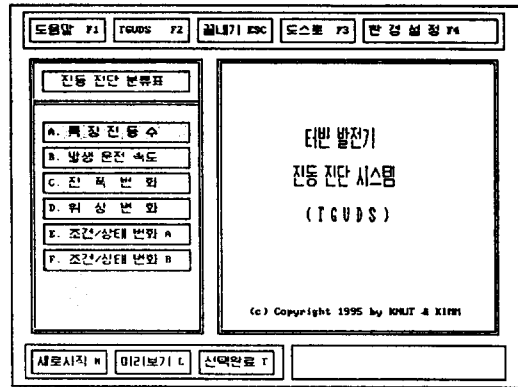


그림 1 진동진단 시스템(TGVDs)의 초기화면

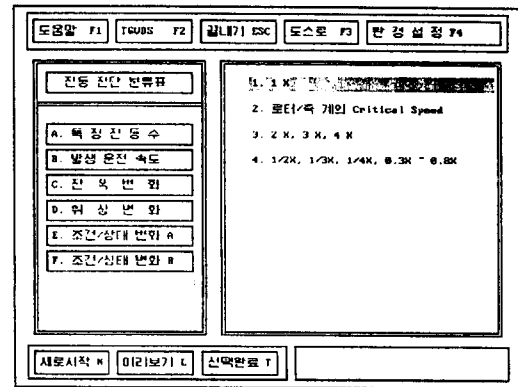


그림 2 진동진단 시스템 입력 모드 화면

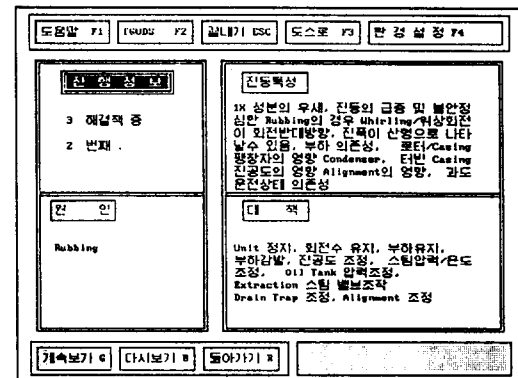


그림 3 진동진단 시스템 결과 검색 모드 화면