

ISO/TC108/SC5/WG2/ISO CD 13379

# 기계의 상태관련 정보와 자료를 사용하는

## 자료해석 및 진단기술 - 일반지침

김건남\*, 양보석\*\*

### Data interpretation and diagnostics techniques which use information and data related to the condition of a machine -

### General guidelines.

G. N. Kim and B. S. Yang

#### 1. 범위

이 국제표준은 기계의 자료해석과 진단을 위한 일반 지침이다. 이것에는 다음이 포함된다.

- 상태감시 및 진단시스템의 사용자와 제작자 사이에 기계 진단분야에 대한 공통 인식을 공유하도록 한다.
- 사용자에게 필요한 기술적 소양을 준비하게 하여, 기계상태의 진단에 활용할 수 있게 한다.
- 기계결함을 진단할 수 있는 적절한 방법을 제공한다.

이 표준은 일반적인 지침이므로 적용되는 기계유형의 목록은 주어지지 않는다. 그러나 이 국제표준은 일반적으로 가스터빈, 압축기, 펌프, 발전기, 전기모터, 송풍기, 팬 등의 산업기계들에 적용된다.

#### 2. 용어의 정의

이 표준의 목적에 따라 용어의 정의는 ISO 13372 "기계의 상태감시 및 진단분야의 용어"에 따른다.

---

\* 한국산업안전공단 위험설비안전센터  
\*\* 부경대학교 기계자동차공학부

#### 2.1 경고(Alarm)

선택된 이상상태(anomaly) 또는 이상상태들의 조합이 발생되어 수정조치가 요구될 때, 운전자에 경보를 줄 수 있도록 고안된 운전신호나 메시지.

#### 2.2 이상상태(Anomaly)

기계의 비정상적인 상태나 거동. 일반적으로 이상상태가 발생되면 진단과정이 시작된다.

#### 2.3 특징설명인자(Descriptor)

사람이 관찰하거나 직접 측정된 결과이거나 또는 처리된 자료로부터 도출된 양으로 증상을 설명하는데 사용된다. 특징설명인자는 증상과 이상상태를 나타내는데 사용된다. 진단을 위하여 사용되는 특징설명인자는 일반적으로 상태감시시스템으로부터 얻어진다. 그러나 다른 측정치 같은 운전변수들도 특징설명인자로 고려될 수 있다.

#### 2.4 고장(Failure)

기계의 고장은 기계의 주 기능의 하나 또는 여러 가지가 더 이상 사용될 수 없을 때 발생한다. 이것은 일반적으로 기계 부품의 하나 또는 여러 개가 결함상태가 되었을 때 발생된다.

#### 2.5 결함(Fault)

기계의 결함은 부품이나 조립품의 상태가 열화되거나 비정상적인 거동을 보일 때 발생된다. 이것은 기계의 고장을 유발시킬 수 있다.

## 2.6 증상(Symptom)

증상은 사람의 관찰과 측정(특징설명인자)에 의하여 감지되는 것으로, 이것이 나타나면 하나나 그 이상의 결함이 발생되었을 가능성을 보여준다.

## 2.7 증후군(Syndrome)

증상이 동시 다발로 나타나는 것으로, 이것이 발생 되면 결함이 존재함을 보여준다.

## 3. 진단 요구사항, 상태감시 설정

### 3.1 운전과 보수유지에서의 진단의 역할과 위치

진단은 운전과 보수유지 직무의 의사결정에 기본적인 역할을 한다. 그렇기 때문에 효과적이기 위해서는 기계에서 발생할 수 있는 결함의 가능성에 따라 진단을 실시할 필요가 있다. 따라서 기계의 상태감시 및 진단시스템을 위한 요구사항을 준비할 때에는 예비조사를 수행할 것을 강력히 권고한다.

### 3.2 진단에 필요한 조사

이러한 조사의 절차는 그림 1에서 보여준다. 그림의 형태는 V자형으로 표시하였고 높은 레벨은 보수유지(기계, 위험성평가), 낮은 레벨은 측정(감시, 주기적 검사, 자료처리)을 나타낸다. 그림의 오른쪽 부분은 시운전이 끝난 기계에서 수행하는 상태감시 및 진단 활동을 나타낸다. 그림의 왼쪽 부분은 특별한 기계를 위하여 필요한 상태감시 및 진단에 필요한 자료를 준비하기 위한 예비조사를 나타낸다. 각 층은 왼쪽은 예비적인 설계 단계, 오른쪽은 사용단계로 구성된다.



<그림 1> 상태감시 및 진단사이클  
: 기계에 적용되는 설계 및 사용

절차는 다음 단계에 따른다.

- 전체 공정에서 기대되는 기계의 가용도, 보전도, 치명도를 분석
- 주요부품과 기능의 목록 작성
- 부품의 결함원인과 고장모드 해석
- 발생 빈도의 중요도(안전도, 가용도, 보수비용, 제품 품질)을 고려한 치명도를 표시
- 진단에 의하여 발견될 수 있는 결함을 결정 (진단 가능성)
- 결함을 가장 잘 관찰할 수 있는 운전조건을 해석하고 기준상태를 정의
- 기계의 상태를 평가할 수 있는 증상을 표시하고 진단에 활용
- 다른 증상들을 평가하는데 사용되는 특징설명인자를 목록화
- 특징설명인자들이 도출되거나 계산될 수 있는 필요한 측정과 변환기들을 선정

a), b), c), d) 단계는 FMEA(고장모드와 영향분석), FMECA(고장모드, 그 영향 및 치명도분석)와 같은 보수유지의 최적화를 위한 기법들을 적용할 수 있다. 그들은 또한 RCM(신뢰도 중심 보수유지), PMO(플랜트 보수유지 최적화), PSA(확률적 안전도분석)와 같은 더 일반적인 보수유지 최적화 기법으로도 달성될 수 있다.

### 3.3 진단요구사항 보고서

진단요구사항 보고서를 작성하여 예비조사를 종합하는 것이 권고된다.

이 보고서에는 보통 다음 사항들이 포함된다.

- 채택된 기계를 적당한 부품으로 분할
- 이들 부품에 관련된 결함들의 목록 작성
- 각 결함에서 잠재적으로 관찰할 수 있는 증상을 제시
- 사용되어질 상태감시 특징설명인자를 명명
- 특징설명인자의 계산을 위하여 사용될 매개변수와 측정방법을 표시

상태감시에 의해 모든 중요한 결함들이 다 포함되는 것이 아니므로, 진단할 수 없는 경우가 생길 수도 있다. 이런 이유 때문에, 보고서에는 표시될 수 있는 결함과 그렇지 않은 결함을 확실하게 구별 할 것을 권고한다. 또한, 진단시스템의 성능 계산에 대한 내용도 포함시킨다.

#### 4. 진단을 위하여 사용되는 요소

##### 4.1 상태감시 자료

##### 4.1.1 측정치

상태감시를 위해 사용되는 모든 측정치들은 일반적으로 진단에 적합하다. 그러나 진단을 위해서는 가공되지 않은 측정치보다는 특징설명인자가 더 선호된다. 왜냐하면 통상 특징설명인자들은 결함을 보다 잘 선별할 수 있는 자료를 제공해 주기 때문이다. 표 1에는 기계의 상태감시와 진단을 위하여 사용되어지는 전통적인 측정치들의 예를 보여준다.

표 1. 진단에 사용되는 측정치의 예

성능	기계적	전기적	윤활유 분석, 제품 품질 및 기타
전력소비	팽창	전류	윤활유 분석
효율	위치	전압	마멸입자 분석
온도	액위	저항	제품치수
열 방산	진동변위	인덕턴스	제품의 물리적 성질
압력	진동속도	캐패시턴스	제품의 화학적 성질
유량	진동가속도	스자기장	색채
	가청소음	절연저항	외관형상
	초음파	부분방전	냄새
			기타 비파괴 검사

##### 4.1.2 특징설명인자

특징설명인자는 직접 측정치 또는 측정치의 데이터 처리 후에 상태감시시스템으로부터 얻어진다. 특징설명인자는 선택도를 높이기 위하여 자주 측정치가 선호된다. 특징설명인자가 보다 많이 선택될수록 보다 많은 증상을 알아낼 수 있고, 따라서 진단을 보다 쉽게 만든다. 그러므로 선택도는 증상으로부터 결함을 추론할 때 결함가설의 수를 줄여 준다.

예 : 진동 측변위의 1차 조화성분의 진폭, 진동가속도의 파고율, 윤활유 산성도, 회전속도, 구름요소베어링의 손상정도, 적외선 열탐상의 온도구배 등.

##### 4.1.3 증상

증상은 다음과 같이 표현될 수 있다.

(시간특성) 변화, 특징설명인자, 위치, 환경

여기서

- 시간특성(선택항목) : 특징설명인자의 진전의 시간 상수

예) 1시간, 10일, 느림 등

- 변화(필수항목) : 진전의 형태와 크기

예) 있음, 없음, 규칙적 증가, 감소, 안정, 10이상, 200이하, 40 $\mu$ m 주기

- 특징설명인자(필수항목) : 사용되는 특징설명인자

예) 온도, 진동변위의 1차 조화성분

- 위치(필수항목) : 증상을 관찰할 수 있는 기계에서의 위치

예) 3번 베어링의 수직방향, 4번 베어링지대, 고압 몸체, 2번 베어링

- 환경(필수항목) : 증상이 나타나는 운전조건

예) : 정지시, 시동 1시간 후, 100% 가동중 등.

증상의 일부가 선택항목일지라도 명목적으로 정해지는 것은 피하기 위하여 그들을 사용하도록 권고된다. 결함의 증상을 선택할 때 두개나 여러 개의 증상이 너무 독립적이거나 너무 관련이 깊은 것은 피하여야 한다. 그런 것들은 보다 많은 정보를 주지 못하며 진단을 어렵게 하기 때문이다.

증상의 예) 측변위의 1차 조화성분벡터의 느리고 규칙적인 진전, 정격조건에서 베어링 온도가 통상치보다 10 $^{\circ}$ C 높은 온도, 베어링지대 진동속도에서 2mm/s의 순간적인 변화. 진동변위의 1차 조화성분의 주기적인 진전(기계에 동력 공급 후 10 $\mu$ m이내), 비정상 소음, 탁한 색의 윤활유 등.

##### 4.1.4 결함

결함은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

기계, 부품, 고장모드, 심각도

여기서

- 기계(필수항목) : 기계의 이름이나 인식 표시

예) 1번 터빈, 2번 보일러급수펌프, BFW PU2, 순환펌프, 5번 분쇄기

- 부품(필수항목) : 결함이 발생한 기계 부품의 명칭 또는 인식 표시

예) 베어링 #3, 축, 피스톤, 저압몸체, 시일 #2

- 고장모드(필수항목) : 기계 부품의 열화유형

예) 마멸, 횡방향 크랙, 마찰, 박리, 불평형

- 심각도(선택항목) : 열화 또는 고장모드의 크기를 대표하는 정수

예) 1 = 정상상태, 2 = 경미한 열화/초기고장, 3

- = 중간열화, 4 = 진전된 그러나 안정한 열화,
- 5 = 진전되고 발산되는 열화,
- 6 = 거의 파괴적인 고장

**4.1.5 운전 매개변수**

운전 매개변수는 진단을 위해 흔히 사용된다. 이들은 다음의 2가지 경우를 위해 이용된다.

- 몇몇 특징설명인자의 설정
- 증상이 나타나는 운전조건(상황)의 설정

운전 매개변수를 고려할 때 주의가 요구된다. 매개변수가 특징설명인자일 때 또는 특징설명인자의 계산에 사용할 때, 매개변수는 출력이 된다. 그러나 매개변수가 운전상태의 특성을 설명할 때는 입력이 된다. 이것은 운전 상태를 특징설명인자로 사용하는 것을 피하기 위해 고려되어야 한다. 예를 들어, 터빈본체의 온도는 본체를 진단하고 감시할 때, 하나의 특징설명인자이다. 터빈본체의 온도는 베어링의 작업에 영향을 끼치므로 베어링을 감시할 때 운전상태가 되지만, 그것은 더 이상 베어링의 결함을 나타내지는 않는다.

**4.2 기계 데이터**

기계의 특정 데이터에 대한 지식이 진단을 위해 필요하다. 예로는 다음과 같은 경우이다.

- 진동의 경우: 회전속도, 기어 잇수, 볼베어링 특성주파수 등과 같은 기계부품의 운동에 관계된 데이터
- 윤활유분석의 경우: 기계의 오일 경로, 유량, 금속 혼합물, 필터배치, 순도 관한 데이터
- 열탐상의 경우: 금속의 IR 방사율

특징설명인자의 처리에 사용되는 기술에 관련된 데이터와 기계의 배치에 관련된 데이터가 구별되어야 한다. 진단 목적을 위해 이들 2가지의 데이터를 기록하는 것이 중요하다. 특징인자를 상세히 설명할 때, 진단요구사항에서 상태감시기술에 관련된 기계 데이터를 기록하는 것이 선호되는 것처럼, 배치와 관련된 기계 데이터는 일반적으로 기계대장으로 기록된다.

**4.3 기계 이력**

결합발생은 운전에 관련될 뿐만 아니라, 또한 기계의 유지보수에도 관련이 있다. 결합은 개방검사기간이

나 또는 특정한 상황동안에 처음으로 발생할 수 있다. 그러므로, 진단에서 이런 사실을 고려하기 위하여 기계에 발생한 결합이력, 운전이력, 유지보수이력을 기록하는 것이 중요하다.

**5. 진단방법**

진단절차는 일반적으로 이상상태의 검출에 의해 시작된다. 이 검출은 기계의 현재 특징설명인자와 경험, 제작자의 사양, 운전시험으로부터 선택되거나 또는 통계자료(장기간의 평균치)로부터 선택된 참고값(일반적으로 기준선값 또는 기준선 자료로 불림)을 비교하는 것에 의해 이루어진다. 하나의 기계를 진단할 때 다른 방법으로도 수행할 수 있다. 이 장에서는 다음 방법을 제시한다.

- 결합/ 증상 진단법
- 인과관계 진단법

**5.1 결합/증상 진단법**

이 진단법은 결합/증상 관계의 이용에 기초를 두고 있다. 이것은 결합과 증상은 서로 연관되는 관계가 있다는 관계지식모델로 알려져 있다. 이 진단법은 독자적인 상황들을 개별적으로 분석하여 결과를 얻는다. 주된 작업은 아래에 설명되어 있다. 그림 2는 결합/증상 진단법의 단계를 그림으로 보여준다.

진단은 다음 중 어느 하나로부터 시작된다.

- 실제 이상상태, 경보 또는 비정상적인 거동의 발생
- 기계의 상태를 평가하기 위하여 이상상태로 표현되는 의심스런 증상

**5.1.1 검출된 이상상태의 평가**

진단의 첫 단계는 이상상태의 평가이다. 이 평가는 2개의 조치로 구성된다.

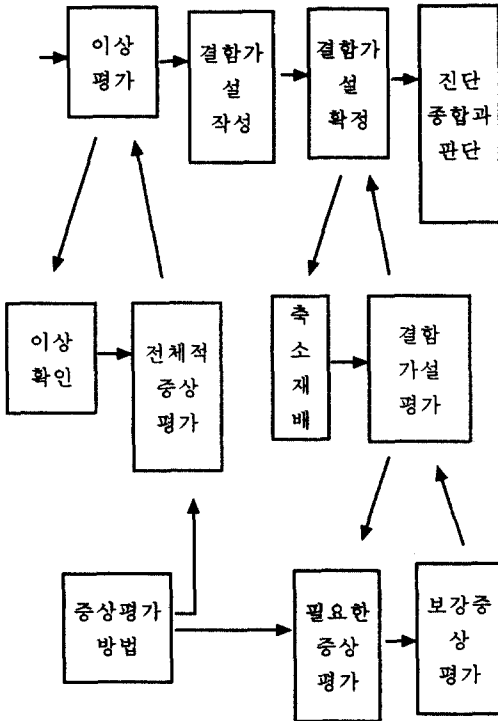
- 이상상태의 확인
- 결합가설을 표시하는데 사용되는 몇개의 전체적인 증상들의 평가

**5.1.1.1 이상상태의 확인**

다음 방법으로 이상상태를 확인한다.

- 특정설명인자로부터의 확인 : 진동, 성능감시, 윤활유분석, 열탐상, 운전데이터 등
- 경고값에는 도달되지 않았으나, 데이터의 비정상적인 변화로부터 확인
- 기계의 변화를 사람이 감지(소음, 냄새, 온도, 습도, 누설 등)

일반적으로 경고는 경보가 울리는 것에 의하여 데이터를 확인할 수 있다.



<그림 2> 결합/증상 진단법

#### 5.1.1.2 전체적 증상의 평가

이 단계는 결합가설의 생성이 가능하다. 전체적 증상의 작은 조합들이 평가된다. 거시적 증상(증상의 그룹)으로 불리는 이러한 증상들은 증상별로 특정한 방법들을 사용하여 평가한다.

#### 5.1.2 결합가설의 작성

하나의 거시적 증상이 평가되면, 거시적 증상과 결합의 관계는 결합가설의 목록작성에 사용된다.

#### 5.1.3 결합가설의 확정

이 단계가 중요한 작업이다. 이 작업의 목적은 요구되는 증상과 맞지 않는 각 가설들을 제거하는 것이다. 이것은 다음으로 구성된다.

- 결합가설 목록의 축소, 재배열
- 필요한 증상을 우선적으로 각 결합가설의 평가

#### 5.1.3.1 결합가정목록의 축소, 재배열

이 단계는 선택적인 작업이다. 이것은 진단의 시간을 단축 시켜준다.

결합가설의 소모적인 목록에서 다음을 고려하여 축소하거나 재배열할 수 있는 항목들을 찾아낸다.

- 피이드백된 자료, 같은 형식의 기계, 같은 서비스나 운전조건들로부터 결합이 발생될 확률
- 치명도해석으로부터 결합의 심각도

결합가설의 수를 줄일 때, 기술에 대한 커다란 신뢰가 있어야 결합가설의 제거가 가능하다.(이런 경우는 크기는 중요하나 결합이 드물게 일어날 때이다.)

#### 5.1.3.2 결합가설의 평가

각 결합가설은 모든 가능한 증상의 존재를 평가함으로써 검사된다. 필요한 증상들이 먼저 평가되고, 필요한 증상이 확인되지 않는 곳에는 보강증상들을 평가한다.

#### 5.1.3.2.1 필요한 증상 평가

모든 필요한 증상들이 먼저 검사된다. 만약 모든 필요한 증상들이 확인되면 그 결합가설은 확정된다. 만약 하나 또는 그 이상의 필요한 증상이 확인되지 않으면, 그 결합가설은 거부된다. 증상을 평가하는 기존의 몇가지 방법 중에서 가장 좋은 성능을 가지는 방법이 선호된다.

#### 5.1.3.2.2 보강증상 평가

모든 필요한 증상이 확인되면, 다음으로 보강증상들을 평가할 수 있다. 이것은 최종 진단단계에서 특별한 결합을 추정할 때 보조역할을 할 수 있다. 필요한 증상과 같지 않지만 하나나 그 이상의 보강증상이 확인된다면 그 결합은 거부되지 않는다.

#### 5.1.4 진단의 종합과 판단

이 단계는 진단절차의 마지막 단계이다. 목적은 실현된 진단을 요약하는 것이다.

평가되고 확인된 요소들은 공식적인 진단보고서에

포함된다. 이들 요소는 다음과 같다.

- a) 진단을 시작하게 한 이상상태
- b) 확인된 전체적인 증상
- c) 확인되지 않는 증상으로 거부된 결함
- d) 확인된 결함과 그들의 예상확률

또한 보고서에는 종합적인 상태를 판단할 수 있는 다른 요소들도 기술한다. 이런 요소들은 확인된 가설에 가중치를 부여하는데 사용할 수 있다.

- a) 기계 이력
- b) 발생한 유사 사례
- c) 결함의 확률과 치명도

한 단원은 결론을 위하여 남겨둔다. 결론에는 결함이 표기된다. 확신도계수는 주관적이지만, 모든 요소들을 근거로 하여 나타낼 수 있다.

수정운전이나 보수작업을 제안한다. 또는 보수작업이 필요하나 운전을 고려하여 언제까지 연기할 수 있다는 것을 권고한다.

## 5.2 인과관계 진단법

### 5.2.1 결함/증상진단법의 한계

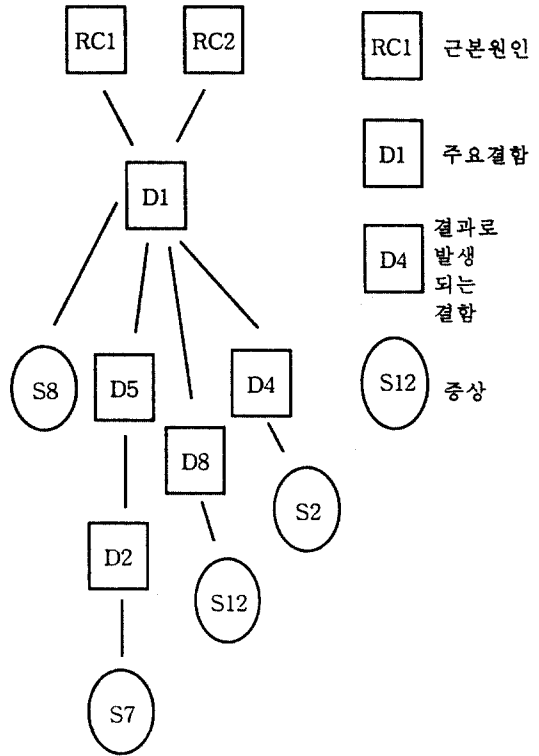
깊이 있는 진단이 요구될 때, 단순한 결함/증상진단법은 만족할만한 진단 지식을 표현할 수 없다. 이 때에는 인과관계 진단법이 사용될 수 있다.

### 5.2.2 인과그래프의 모델링

진단을 위하여 인과트리(causal tree)를 사용한다. 이는 지식을 다음과 같이 모델화 한다.

- a) 주요 결함이 시작되는 최초사건의 근본원인을 찾아낸다. 링크에서의 관계는 시작(initiates)이다.
- b) 주요 결함들은 그들이 야기할 수 있는 결함들과 연결된다. 링크에서의 관계는 야기(induces)이다.
- c) 결함은 파악된 관계에 의해 증상과 연결된다.

<그림 3>은 진단을 위한 원인트리 구조의 한 예를 보여준다.



<그림 3> 진단을 위한 인과그래프 구조의 예

연결(link)은 다음과 같이 구성될 수 있다.

- 원인과 그 결과사이의 시간을 나타내는 지연 값. 각 결함들은 체계적으로 증상을 가지지는 않는다.
- 그 원인이 이 결과(시작과 야기의 경우만)를 가지는 확률을 나타내는 확률값