

第4章 機械의 故障 原因 解決 技法 (Machinery Troubleshooting)

1. 概要 (Introduction)

고장 분석기법(Failure Analysis)을 고장난 기계부품에 대한 사후 점검이라고 한다면, 고장원인 해결기법(Troubleshooting)은 고장 분석기법보다 확대된 의미로서 고장발생의 근본 원인을 규명하는 모든 활동을 포함하는 의미이다. 그러나 때로는 고장원인 해결의 과정은 여기서 멈추지 않고 문제의 제거까지를 포함하기도 한다. 다음의 두 가지 기본적인 경우에서 이 정의를 보다 확실하게 해 줄 것이다. 첫 번째 예는 시제품을 원형 시험하는 동안 기계 제조자가 많이 경험하는 구동축의 일관된 피로손상이며, 두 번째 예는 고장없이 몇 년간 운전한 후에 기계 소유자가 경험하는 비슷한 고장이다. 첫 번째 예에서는 고장 분석을 통하여 고장의 원인을 밝히고, 설계변수를 변경함으로써 교정행위가 비교적 빨리 이루어질 수 있다. 두 번째 예에서는 고장 분석이란 일반적으로 고장원인 해결 기법이라고 불리는 과정의 일부가 될 것이다. 고장 분석이 일단 완료되어, 직접적인 원인과 결과의 관계로서 저주파수 비틀림에 의한 “피로파괴”라고 결론지어지면, 여기서부터 고장원인 해결 기법이 시작된다. 무엇이 비틀림 진동을 갑자기 일어나게 했는가? 경험이 있는 기술자는 이렇게 말할 것이다. “이것은 보통 이런 식으로 되지 않는데! 진단상의 방법은 어떤가? 그것은 고장원인 해결 기법의 일부분이 아니지 않는가?” 기계 기술자들은 기계의 건전성을 평가하거나, 기계 성능상의 결함에 관계된 문제를 해결해 달라는 요청을 매우 자주 받기 때문에 이것은 지당한 질문이다. 전형적인 공정기계류의 성능상 결함 즉 간단한 문제의 징후들이 표 4-1에 나타나 있다.

이 같은 증상들이 한 개 또는 그 이상이 나타나면 기계 기술자들은 다음과 같은 질문에 답하도록 요구되어질 것이다.

- (1) 기계가 운전중이라면 필연적인 손상을 줄이기 위하여 운전을 중지해야 하는가? 문제의 심각성은 어느 정도인가? 얼마나 신속하게 이 문제를 해결해야 하는가? 문제가 더 심각해질 것인가, 현상태로 유지될 것인가 아니면 감소될 것인가?
- (2) 기계 정비가 가능하다면 점검과 수리를 위해 개방해야 하는가?
- (3) 이러한 증상이 나타나면 어떤 부품에 이상이 있는 것이며, 고장형태는 어떠한 것

이며, 연쇄적인 영향은 무엇일까? 또 고장으로 인한 정지시간을 단축하기 위하여 어떤 부품과 설비들이 준비되어야 하는가?

속려된 고장원인 해결사는 이같은 중대한 질문에 어떻게 답하는가? 다음 Page에서 몇 가지 대표적 접근방법을 알아보고 효과적으로 적용되어왔던 방법들을 예를 들어 설명할 것이다.

표 4-1 전형적인 공정기계의 성능 결함

증상 (성능이상 변수)	플랜트 공정 기계								
	압축기	송풍기	Fan	펌프	터빈	전동기	엔진	기어	윤활계통
효율 변화	•			•	•				
유동 불능				•					•
용량 부족	•	•	•	•	•		•		•
이상 압력	•	•	•	•					•
과도한 부하 요구	•	•	•	•					
과도한 누설	•	•		•	•			•	•
과도한 소음	•	•	•	•	•	•	•	•	
과열	•	•		•	•	•	•	•	
노킹(Knocking)	•			•			•		
과도한 배기온도	•	•			•		•		
기동 불능	•	•	•	•	•	•	•		•
정지 불능					•	•	•		
동력 부족					•	•	•		
과도한 증기/연료 소모					•		•		
자동, 조절, 안전 장치 등의 고장	•	•	•	•	•	•	•	•	•
동결	•			•					
속도 이상 또는 변동					•	•	•		
정지	•	•	•	•	•	•	•	•	•
과도한 진동	•	•	•	•	•	•	•	•	

1.1 一般的인 接近 方法 (Competing Approaches)

조직적인 접근 (Organizational Approaches). 조직적 접근 방법은 흔히 고

장원인 해결에 별 도움이 되지 않는다. 이상 증상이나 고장의 해결을 위해 공장에서 어떤 조직을 구성하는 것은 진정한 원인규명과 결론의 도출에 큰 기여를 하지 못한다. 이 경우 기계고장의 원인에 대한 접근보다는 이상 증상이나 결과에 대한 수정 측면의 “정비(Maintenance)”에 초점이 맞추어지기 때문이다. 효과적인 고장 분석과 고장원인 해결을 위한 조직에 대해서 설명하는 본장 뒷부분에서 단순히 조직적이고 관습적인 방법의 단점이 설명된다.

문제를 잘 알고 있다는 것 (Learning to live with the Problem). 어떤 기계의 문제점에 관하여 어느 누군가 이렇게 말하는 것을 들었다. “이 문제에 대해서는 이미 알고 있으므로, 이 문제는 이제 더 이상 문제가 아니다.” 이 말의 뜻은 문제는 계속되어 왔지만 이미 3개월 주기로 계속 접해왔기 때문에 문제가 없다는 것이다. 즉 “이것이 발생되면 우리는 이렇게 했다. 그러므로 그것은 지극히 정상이다” 이렇게 접근하는 이유는 적절한 동기부여의 부족임은 두말할 나위도 없지만 또 다른 이유는 기계 고장 형태에 대하여 잘 알지 못하기 때문이다.

유리한 측면으로만 해석하여 접근하는 방법 (Well-Meaning Approach). 이 접근 방법은 고장원인 해결을 수행하는 의도는 좋지만 이미 발생한 문제를 해결하는 과정에서 새로운 문제를 발생시킨다. 이것은 조치를 하기 전에 결정된 어떤 문제 해결 방법의 장단점을 잘 비교 분석하지 못했음을 의미한다. 이러한 접근 방법의 또 다른 특징은 이전에 한번 고장 원인의 규명을 통하여 만들어진 권고사항을 철저히 추적하지 못한다는 것이다. 우리는 종종 어떤 문제점의 수정방법을 동일한 문제가 일어날 수 있는 분야의 예방책으로 적용하지 못할 때가 있다. 편협한 태도는 문제의 재발 방지 행위를 방해하게 된다.

기계공적 접근 (Mr. Machinery Approach). 이 접근 방법은 조직적 접근 방법과 유리한 측면으로만 해석하여 접근하는 방법의 범주에 속한다. 이는 기계 수명의 책임이 단지 기계공 한 사람에게 달려 있을 때 취해지는 접근 방법이다. 그의 성공률은 대체로 양호하지만 그 성공률이 좋아질지 나빠질지 어찌 알겠는가? 그는 유능한 대처요원이므로 자주 임무를 맡게되고 해결사이며 통제자이다. 그는 소위 기계 고장원인 해결사임에는 틀림없지만, 그가 얼마나 성공적일 수 있을까?

본서를 통하여 고장 분석과 고장원인 해결은 기계공 혼자서 수행하는 경우는 거의 없고, 얼마만큼 상호 협력 노력이 있어야만 하는가를 알게 될 것이다.

그릇된 사고방식에 의한 접근 (Approaches caused by wrong thinking patterns)

기계의 고장 분석과 고장원인 해결은 손상이나 기능상 부진의 원인이 무엇인지 이해하는 과정이다. “이해한다는 것은 곧 생각한다는 것이다.” 그리고 어느 고장원인 해결사가 말했듯이 고장원인 해결은 생각할 때와 행동을 취할 때를 아는 것이다. 고장 분석과 고장원인 해결이 가끔 성공적으로 수행되지 못하는 이유는 그에 대한 사고 패턴이 효과적이지 못했기 때문이다.

우리의 사고 과정은 2가지 인자에 의해 방해를 받는다. 하나는 외부인자로서 "기계 요소의 수명을 예측하는 것이 가능한가?" 하는 것이며(이것에 대해서는 앞에서 잠깐 언급했으며, 공정기계의 고장 분석과 고장원인 해결을 수행할 때 이것을 알아야 할 필요가 있다고 소개했다), 또 하나는 사고 과정 자체에 의해 결정되는 인자로서 이제부터 설명하게 될 것이다.

사람들이 효율적인 사고를 할 수 있도록 만드는 확실적인 방법은 오류가 수반될 수 있다는 것을 인식해야 하며 이러한 오류는 다음과 같은 것들이 있다.

모노레일 오류 (The Monorail Mistake).

기계 진동의 신호 분석이 제트엔진의 점검에서 잘 이루어져 왔기 때문에 원심형 압축기나 터빈과 같은 예비기가 없는 주 공정 기계에서도 동일할 것이라고 생각하기 쉽다. 그러나 정말로 똑같은 수백 개의 기계가 있는 경우도 있지만 주 공정 기계에서는 똑같은 경우가 거의 없다. 한 개의 제트엔진의 예비 진단은 수많은 다른 제트엔진에서도 유효하게 적용될 수 있지만, 주 공정 기계에서는 이것이 불가능하다. 따라서 고장원인 해결 기법의 결과에 의한 기적은 모든 진동분석 장비를 갖춘 주 공정기계 기술자에게서 기대될 수 있다. 모노레일 오류는 간단히 말해서 모든 제한 요소(Qualifying Factor)들을 무시하고 판에 박힌 방식으로 한가지 생각을 다른 것에 곧장 적용시키는 것을 뜻한다. 예를 들어 “전문가에 의하여 제작된 진동 가혹 정도표에 의하면 이 기계는 과도한 진동 상태로 운전되고 있다.”라는 것이다. 여기서 무시된 제한 요소는 모든 기계가 동일하게 제작되지 않았다는 사실이다. 만일, 기계의 고장원인 해결에 있어 제한 요소를 고려하지 않으면 모노레일 오류를 범하기가 쉽다.

상태의 정도에 대한 오류 (The Magnitude Mistake).

두 번째 주된 오류는 사람들이 일하는 방식으로부터 비롯되는 사고방식상의 오류이다. 사람들은

흔히 고장에 대한 “명칭”만을 생각하고 이에 해당하는 유효한 대책을 수립하기 위한 사고 과정을 진행시킨다. 각종 보고서에서 이러한 오류를 자주 볼 수 있는데 즉, “축 정렬 불량에 의한 고장”, “정상 마모” 등과 같은 것들이다. 이러한 오류는 직접 경험을 하는 실무 기술자들에게서는 잘 볼 수 없으며 이들은 “마모는 언제 발생하였으며 상태는 어느 정도인가?” “축 정렬 불량은 어느 정도인가?” 등과 같은 구체적인 의문점을 제시한다.

부적합 오류 (The Misfit Mistake). 길을 걷는 도중 잘 아는 사람을 발견하고 반가워 달려갔다가 그 사람이 자기가 생각했던 사람이 아님을 발견할 때가 있다. 관념적으로 알고 있는 어떤 것이 실제와 같지 않을 때를 부적절 오류라 한다. 우리는 흔히 어떤 결론을 도출할 때 모든 정보를 다 사용하지 않는다. 그 상황에 익숙할수록 더 빨리 그 상황에 대한 결론을 내리게 되는데, 예를 들어, 전에 이런 소음을 들었을 때, “원인이...이었다”라고 하는 것 등이다. 실제로 고장원인 해결시 이러한 부적합 오류가 쉽게 발생되며, 이 책에서 제시한 고장원인 해결 Matrix는 이와 같은 위험성이 인식되지 않을 때 얼마나 많은 오류가 발생할 수 있을 것인지에 대한 좋은 아이디어를 제공한다.

당위성 오류 (The Must-be Mistake). 이 오류는 “자만에 의한 오류”라고도 불린다. 결론을 이끌어 내기 위해 수집된 정보가 틀린 것이 없는데도 불구하고 자만은 이 결론이 수정이나 개선이 불가능하다고 확정해 버린다. 기계에 대한 고장원인 해결중 새로운 증거가 나타났을 때, 당위성 오류 때문에 이미 내려진 결론을 변경시키기를 거부하게 된다. 이전에 결코 제기된 적이 없는 새로운 관점의 가능성을 인정하지 않는 이러한 오류는 계속될 것이다. “다른 사실로 나를 혼동시키지 마시오. 내 마음은 이미 정해져 있소.”

간과에 의한 오류 (The Miss out Mistake). 이러한 오류는 부분적인 것만을 고려하여 전체 상황에 적용되는 결론을 도출할 때 발생되며, 간접 정보에 의존하는 점검자에게서 빈번히 발생된다. 예를 들어 거대한 공정 압축기의 Thrust 베어링 손상에 대한 원인 추적에서 기계에 액상 슬러지를 야기시키는 최근 공정 사고에 대한 기록이 없다는 사실 때문에 조사자는 그릇된 판단을 내릴 수 있다. 우리는 우리가 알고 있는 정보 보다 더 많은 정보가 있을 거라는 명확하지 않은 생각이 떠오르는 상황에 처해오곤 한다. 기계

의 고장원인 해결중 이러한 생각이 들면 몇 가지 선택을 하여야 한다.

- ① 이것이 전체중에서 단지 일부분에 근거를 두고 있다고 확신하므로 제기된 결론을 거부한다.
- ② 기출된 결론이 마음에 들지 않고, 그것이 전체 사실중에서 일부에 근거를 두었다고 생각되므로 제기된 결론을 거부한다.
- ③ 결론을 받아들이지만, 일단 유보하고 보다 완전한 것을 찾아본다.
- ④ 결론이 마음에 듦으로 그것을 받아들이고 결정이 옳다는 결론을 내린다.
- ⑤ 우리가 모든 정보를 갖고 있음에도 다른 것을 찾을 수 없으므로 다른 결론은 있을 수 없다는 결론을 내린다.

1.2 専門家的인 接近 方法

(The Professional Problem Solver's(PPS)Approach)

사고과정의 장애에 대한 설명에 이어, 고장 분석과 원인 해결의 전문가적인 접근에 대해 설명하고자 한다. 모든 정보처리 과정에서는 선택이 중요하므로 마지막 실수가 가장 결정적이다. 문제의 해결과 고장 원인 규명을 위하여 필요한 선택 요소 3가지는 다음과 같다.

- ① **선택을 위한 코드화.** 때로 방대하고 부적절한 정보들의 코드화를 위해서 구성요소들을 선택해야 한다. 이에 대한 기술은 올바른 구성요소들을 선택하고 잘못된 것들은 제거하는 것이다.
- ② **선택을 위한 조합.** 코드화된 요소들을 조합하거나 통합하는 방식은 여러 가지가 있다. 이에 대한 기술은 이러한 요소들을 올바르게 조합하는 방식을 선택하는 것이며, 이 과정은 상반조건에 대한 영향과 여러 기계 부품들의 상호관련 함수에 대한 지식을 기본으로 한다. 여기에서 중요한 것은 대부분의 기계 고장은 여러 가지 원인들이 조합되어 어떤 결과로 나타난다는 것이다. 고장 원인이 유일한 경우는 아주 드물다.
- ③ **선택을 위한 비교.** 새로운 정보는 반드시 이전의 정보와 관련이 있기 때문에, 유사하거나 관련이 있는 점들을 이끌어 낼 수 있다. 이에 대한 기술은 올바른 비교를 하는 것이다.

일반적으로 이러한 사고 과정의 3가지 요소를 통찰이라고 부르며, 공통적으로 "선택"이라는 한 인자를 가지고 있다. 그러나 고장 분석 기법이나 고장원인 해결 기법에의

PPS 접근을 위해서는 또 다른 요소들이 있다.

사전 지식(Prior knowledge). 간단하게 보이는 문제라 할지라도 때로는 사전 지식을 필요로 한다. 표 4-1의 목록화된 성능 결함을 고려해 보자. 적어도 그 원인이 될 수 있는 몇 가지 지식도 없이 이들 증상을 진단하려고 하는 것은 올바른 자세가 아니다.

사전지식이 경험에 근거를 두고 있고 만일 우리의 경험이 올바른 것이라면 기본적인 고장원인 해결의 원칙을 세울 수 있을 것이다. 그 좋은 예로는 다음과 같은 것들이 있다.

윤활에 관하여(On lubrication) :

- ① 유막 두께는 증가하지 않고 편심이 증가하면 기계의 윤활이나 마찰과 관련된 문제가 종종 발생한다.
- ② 상대 팽창과 열로 인한 비틀림으로 인해 온도는 윤활 요소에 직, 간접적인 영향을 미치므로 윤활요소의 고장원인 해결시에는 항상 온도, 온도 변화율, 온도 천이구역 등을 확인하여야 한다.

"문제가 발생되기 쉬운 부분"에 관하여(On "trouble spots") :

- ① 비교적 꼭 조인 틈새와 같은 접촉 부위에서는 문제가 발생하기 쉬우므로 Fit 부식과 마찰을 예상해야 한다. 액체와 근접한 벽 사이에서, 기포와 액체가 공존할 때는 케비테이션이 발생한다. 즉, 양쪽의 간섭이 동시에 나타날 때 (그림 4-1) 케비테이션이 발생한다.

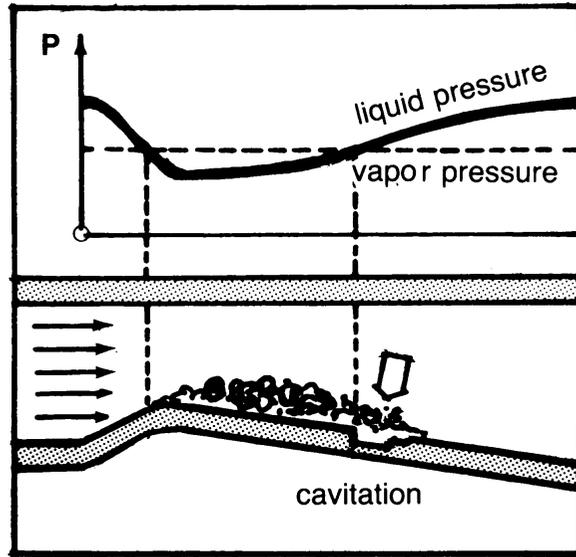


그림 4-1 케비테이션 현상

- ② 서로 상대적으로 움직일 수 있도록 설계된 부품이 실제로 움직이지 않으면 고착될 것이다.
- ③ 숙련된 정비공들은 조립시 각 부품이 제자리에 위치하도록 조립품을 분해하기 전에 조립상태에서 서로 표지를 해두어야 한다는 것을 알고 있다. 그러나 여러 번 같은 일을 하게되면 자만심이 생기게 되고, 조립상태에서 서로 표지를 하는 것과 같은 간단한 예방책을 무시하면 부적절한 조립과 기동 후에 심각한 운전문제를 유발할 수 있다.

문제 해결에 관하여(On problem solving) :

- ① 문제는 한번에 한가지씩 다루어야 가장 잘 해결된다.
- ② 문제에는 반드시 원인이 있으므로 문제를 해결하려고 하기 전에 원인을 밝혀야 한다.
- ③ 성취하고자 하는 목표가 무엇인지를 미리 알아야 한다.
- ④ 문제가 발생하면 당황하기보다는 대처할 방안을 세워야 한다.

그리고 좀더 너그러운 측면에서 보면, 전혀 모르는 문제를 조사할 때는 찾으려고 하는 것이 무엇인지 모르는 것이 당연하다.

실행 과정(Executive Processes). 이것은 고장 분석과 고장원인 해결시의 계

획, 모니터링, 성능평가 등의 과정을 포함한다. 시작하기 전에 먼저 문제를 상세히 연구하여 동일성, 위치, 시간, 범위 등을 정의하고 새로 얻어지는 정보를 이용하여 문제를 수정해 나가야 한다. 실행과정에서 또 한가지 중요한 사항은 문제 해결 과정을 모니터링 하는 것으로 이미 진행되었거나 진행중이거나 여전히 진행될 필요가 있는 것이 무엇인가 하는 진전 상황을 계속 알고 있어야 하며 만약 진행정도가 너무 느리면 방법을 바꿔본다.

동기(Motivation). 정말로 도전해 볼만한 문제는 종종 문제 해결자에게 많은 동기부여를 요구한다. 보통 유능한 문제 해결자는 최선의 노력을 다하려고 하는 사람이다.

스타일(Style). 사람들은 다양한 스타일의 사고와 이해로 문제에 접근한다. 어떤 이들은 충동적이고 또 어떤 이들은 사려가 깊다. 유능한 문제 해결자는 양쪽 스타일을 모두 활용하는 사람인데, 고장원인 해결 과정에 있어서 어떤 것은 즉각적인 사고가 요구되며 또 어떤 것은 사려 깊고 논리적인 계산이 요구되기 때문이다.

종합해 보면 고장 분석과 고장원인 해결에의 전문가적인 접근방식은 최선의 선택 과정, 사전 지식, 실행 과정, 동기, 스타일 등을 복합적으로 적용하는 것이다.

2. 機械의 고장원인 해결에의 Matrix 接近 (The Matrix Approach to Machinery Troubleshooting)

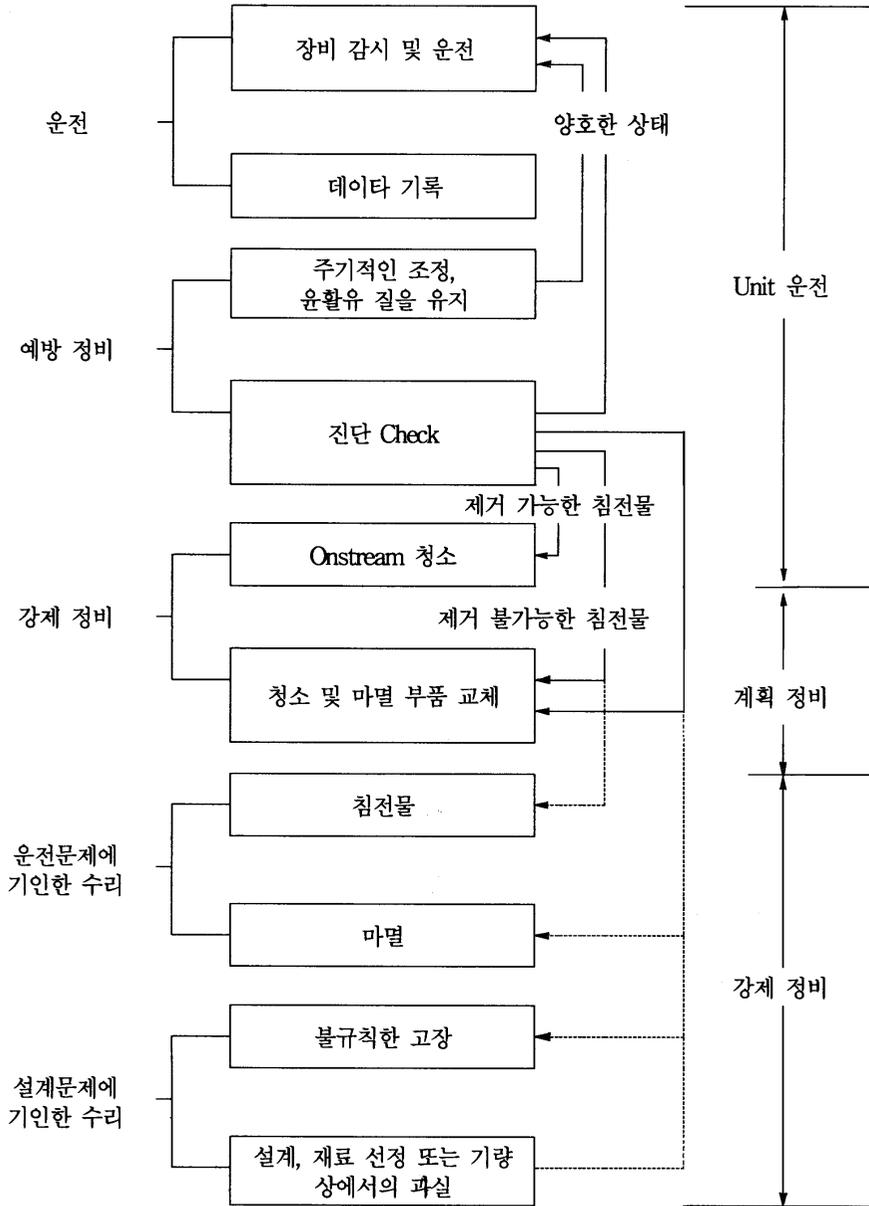
앞장에서 공정 기계에 대한 고장원인 해결 기법은 몇 가지 진단 단계를 반드시 포함해야 한다는 것이 명백하게 밝혀졌다. 기계 사용자들은 고장 원인이 알려져 있거나 (진단이 필요 없음), 고장 원인이 의심스럽거나 또는 고장 원인이 파악되지 않는 등의 여러 가지 상황에 봉착하게 된다. 책임있는 고장원인 해결사는 원인이 파악되지 않은 상황 등 어떠한 상황에서도 쉽게 포기하지 않는다. 이제부터 원인이 의심스럽거나 파악이 안된 상황에 접근하는 방법과 진단방법을 설명한다.

Diagnostics(진단 방법)는 Diagnosis(진단)에 도달하는 방법이다. Diagnosis(진단)는 간단히 다른 말로 "인식(Recognition)"이라 말할 수 있는데, 예를 들어 질병이 무엇인지 알아내는 것과 같다. 앞에서 기계의 Diagnostics의 어떤 양상에 대해 언급했는데 우리는 이 두 가지 기본 형식을 구별할 수 있어야 한다. Diagnostics나 손상 분석은 고장이 발생한 후에 수행되는 것이고, Diagnosis란 표 4-2에서와 같이 기계 건전성 여부를 감시하는 행위 즉, 모든 관련된 성능과 상태자료를 조합하여 기계 건전성 여부

를 알아내려는 모든 노력을 말한다. 이러한 접근은 기계의 상태감시에 속하며 예지정비에 있어 중요한 역할을 한다.

이러한 형식의 진단 방법은 가스터빈 압축기와 디젤엔진의 모니터링에 적용될 수 있다. 여기서, 배기가스-온도-감시 프로그램은 가격이 저렴하여 일반적으로 기계의 상태 지시기로 이용되었지만, 급박한 손상 위험에 대한 경고를 초기에 적절하게 제공하지 못한다. 따라서 정교한 진단 기법이 엔진 분석기의 형태로 개발되었다. 그림 4-2와 4-3은 엔진 분석기로부터 얻어진 전형적인 진단 그림이다.

표 4-2 기계 진단 과정



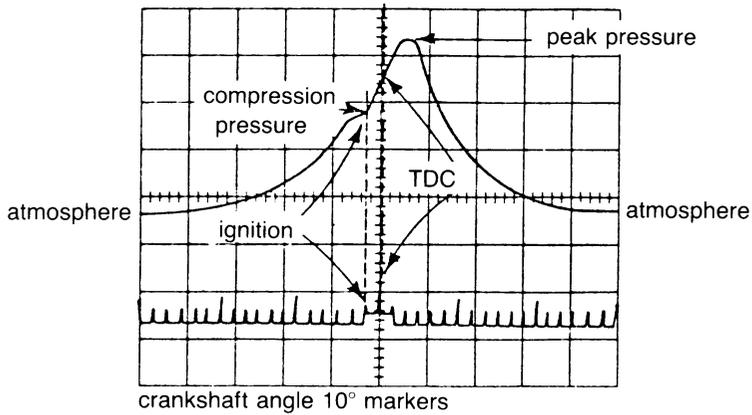


그림 4-2 엔진 분석기의 전형적인 파형 특징을 보여주는 크랭크각 대 압력의 표시

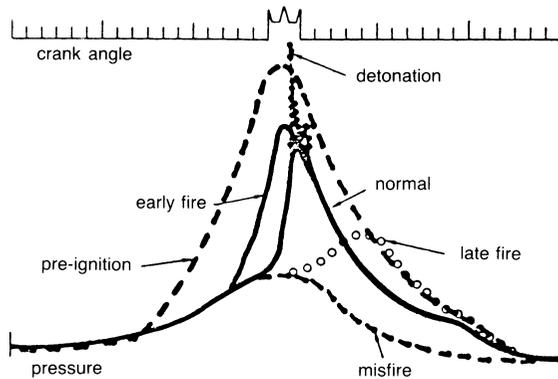


그림 4-3 다양한 기능 부진 증상을 표현하는 2사이클 엔진 실린더 압력

이러한 형태의 감시체계로 얻어지는 고장 진단은 몇몇 다른 공정기계에도 어느 정도 적용된다. 그림 4-4와 4-5에서는 고장 진단이 다른 분야에서 어떻게 활용될 수 있는가를 보여준다.

자동 이상진단은 표 4-3에서와 같이 대형 펌프를 구동하는 전동기가 비상정지 되었을 때 이를 진단하는데 유용하다.

솔직히 말해서 좀더 예지적인 면에서는 On-Line형 Diagnosis를 권장하고 싶지만 이것의 부정할 수 없는 단점은 투자/회수 비율을 계산하기가 어렵다는 것이다.

모든 기계손상의 99% 이상이 어떤 일반적인 이상신호가 먼저 나타난다고 알려져 있지만, 왕복식 압축기, 내연기관, 통합 전기 시스템 등을 제외한 대부분 공정 기계 시스템은 파손에 앞서 각각의 특정 부품의 손상에 대한 경고를 주지는 않는다. 그러므로,

손상 대비를 위한 검사와 온라인 진단법을 병행하여야 한다.

...조종석 앞에 있는 화면(FFCC-보잉767)은 스크린 위에 모든 정보와 조종상태를 보여준다. 비행 감시 시스템을 통하여 조종사는 언제든지 엔진 작동상태와 비행 시스템의 상태를 스크린으로 볼 수 있다. 또한 이 시스템은 지상의 정비원들에게 예정 정비작업을 미리 알려준다. 컴퓨터는 약 200가지의 기능부진 상황을 저장할 수 있고, 비행 승무원에게 다가오는 문제점들을 경고해주며, 고장을 해결하기 위해 어떤 것들을 점검해야 한다는 것을 알려준다.

탑재된 컴퓨터는 수초내에 일련의 고장중에서 근본 원인을 찾아낼 수 있으며, 특히 아주 차분하게 이것을 수행한다. 지금은 모든 일상적인 가청 신호중 3/4은 컴퓨터 조종석내에서 조용하게 나타난다... (비행 주간 우주 공학기술 중에서)

그림 4-4 컴퓨터 조종석(Computer Cockpit)

위의 간략화된 예에서 컴퓨터는 환자의 열, 소변에 포함된 피, 폐안의 피가 섞인 가래, 황달 등을 검사한다. 이 프로그램은 각각의 증상이 네 가지 진단 가능한 질병(간장 경화, 간염, 폐렴, 신장염(신장 질환)등)과 얼마나 관계가 있는가를 나타내는 숫자를 더함으로써 가장 확률이 높은 예상 질병이 폐렴이라는 것을 가려낸다. 두 번째로 점수가 높은 것은 간염이지만, 간염은 폐렴의 증상이 아닌 한가지 증상(소변 속의 피)을 가지고 있기 때문에 컴퓨터는 간장 경화를 그 다음의 예상질병으로 선택할 것이다. 분할법이라고 불리는 이러한 과정은 컴퓨터가 관련된 질병 집단에 주의를 집중하도록 초점을 맞춘다

	Cirrhosis	Hepatitis	Pneumonia	Nephritis
Fever	1	1	2	0
Red cells in urine	0	1	0	3
Bloody sputum	0	0	3	0
Jaundice	3	3	1	0
	4	5	6	3
	First alternative		Most probable hypothesis	

그림 4-5 컴퓨터화된 의학 진단

표 4-3 전동기의 손상 진단표

계전기 표시								예상 Trip 원인
U/B	O/L	START	RTD	G/F	TRIP	U/C	ON	
	•	•			•		•	기동 타이머의 한도 초과 • 로터의 고착 • 빈번한 기동 • 기동 타이머의 너무 낮은 설정
	•				•		•	과부하 • 운전중의 과부하 • 기계적인 고장, 급격한 정지 • 회로의 단락
			•		•		•	고온(RTD OPTION) • 환기 불능 • 냉각 핀 오동작 • 높은 외기 온도
•	•	•			•		•	퓨즈 절단 • 퓨즈 점검
•					•		•	과도한 불균형 • 퓨즈 절단 • 단상 공급 • 권선 이음부의 느슨함 • 전동기 권선의 단락
				•	•		•	접지 불량 • 전동기 권선의 케이싱과의 단락 • 금속제 기초와 권선의 접촉
					•		•	Lock out Relay Reset 안한 상태 • 전원이 재공급된 후에도 Relay 동작 상태
						•	•	저전류 경고 • 펌프 흡입구의 막힘 • 펌프의 배출밸브 닫힘 • 송풍기에서 공기 흐름이 없을 때 • 컨베이어의 과부하 경고

우리의 주제에 부합되는 유사점을 의학 세계에서 찾아본 것은 좋은 아이디어였다. 결국 우리는 거기서 Diagnosis와 Diagnostic이라는 용어를 빌려오게 되었다. 세 가지 유사점은 다음과 같다.

① 증상 (Symptoms)

인간의 신체에서와 마찬가지로 운전중인 공정 기계도 전문가가 기계 내부의 건강 상태를 파악할 수 있는 “중요한 신호”를 가지고 있다. 의사와 같이 기계 분석자는 그가 필요한 증세를 보여주는 데이터를 얻기 위해서 주로 감각에 의존하여야 하지만, 의사와는 달리 동일한 모델에 대해서 10년 이상이나 학문적인 트레이닝을 하지는 않는다. 무엇보다도 기계 Troubleshooter는 일반적인 경험과 오감을 사용해야 한다. 적절한 장비를 사용하지 않고 행하는 진단은 종종 명확치는 않지만 “무언가” 문제가 있음을 나타낸다. 따라서 의학 진단법에서와 마찬가지로 Troubleshooting에 있어서도 주어진 많은 일반적인 증상으로부터 정확한 진단을 할 수 있는 명확한 증상을 얻기 위하여 질병이나 손상 상태의 변화를 기다려야 한다. 표 4-4는 일반적인 증상의 예를 보여준다. 때로 기계 Troubleshooter는 명확하지 않은 증상을 근거로 하여 작업을 해야만 할 때가 있으며, 명확한 증상은 기기 불시 정지시나 파손 상태에서 나타날 것이다.

표 4-4 진단시의 일반적인 증상

기계 진단	의학적 진단
온도 상승	발열
소음	안색이 좋지 않음
진동	피부 발진
베어링 온도 상승	헛바늘

다음은 일반적인 기계류의 고장 증상의 예이다.

고장기계 : 대형형 2단 왕복동 가스압축기를 구동하는 800 HP, 320 rpm의 유도전동기

증상 : 운전원들은 전동기 운전시 다음과 같은 점진적 변화를 주시해 왔다.

- 0.1 in/sec의 비정상적인 축방향 진동(정상치: 0.05 in/sec, peak to peak vel.)
- 전동기 내부의 불연속 마찰음.
- 부하 감소에 따라 마찰음이 감소하고, 없어짐.

- 정격 부하의 86% 근방에서 전류값이 ± 15 A 정도 변동(Hunting)함.

고장진단을 위해 고장원인 해결사는 무엇을 할 것인가? 좀더 분명하고 특이한 증상이 나타날 때까지 기다려야 하는가? Rotor Bar의 느슨함 여부 파악, 전동기 단독시험을 위해 커플링을 분해할 것인가? 수분 침투에 의한 오일 손상으로 베어링이 손상되었는가? 수정작업을 해야 할 정도로 중대한 증상이라도 있는가?

이와 같은 생각들을 하면서 고장원인 해결사는 각종 증상들을 조사할 것이다.

② 진단 (Diagnosis)

기계의 고장원인 해결 기법상의 진단과 병원 전문가의 진단은 정밀 학문과는 다소 거리가 있다. 유명한 전문의도 너무 많은 일반적인 증상들 때문에 전혀 엉뚱한 진단을 내릴 수 있다.

③ 컴퓨터화된 진단 (Computerized Diagnosis)

병원에서의 컴퓨터를 이용한 진단은 이미 잘 수행되고 있지만 다양한 종류의 공정기계와는 달리 한가지 모델에만 적용되므로 놀라운 일은 아니다. 그러나 이 책에서의 접근 방식은 매우 흥미로우며 그림 4-5와 같이 기능화되어 있다.

이제 기계의 고장원인 해결과 진단을 위해 필요한 정보를 살펴보도록 하자. 이를 위하여 필요한 사항은 다음과 같다.

(1) 결함이나 이상증상에 대한 목록을 작성하라. 가장 쉽게 알 수 있는 것부터 시작하라

a. 촉각/후각 : 가스, 산 누설 등.

b. 촉각 : 과열, 진동 등.

c. 청각 : 과도한 소음, 노킹, 피스톤 Slap, 마찰, 폭음, 경보 등.

d. 시각 :

① 직접적인 관찰 : 증기, 연기, 유체 누설, 진동, 느슨함, 연기, 불 등 .

② 간접적인 측정이나 관찰 :

ⓐ 지시계 눈금의 변화(상승/하강) :

• 압력 • 온도 • 유동 • 위치 • 속도 • 진동

ⓑ 성능변화(상승/하강) :

• 압력율 • 온도율 • 소요동력 • 출력 감소 • 효율

e. 내부 검사 결과.

f. 고장 분석(사후 검사) 결과.

(2) 예상 원인과 가정 목록을 만들어 보라 :

먼저 기계의 주요 부품, 시스템, 보조기기 등의 목록을 작성하라. 이 부분에서 고장 원인 해결사는 기계 관련 지식을 응용할 수 있다.

(3) 원인과 증상의 상호관계나 관련사항을 파악하라. 질문을 통한 간접 경험을 이용하라. 즉 이러한 부품에서 자주 발생하는 문제는 무엇인가? 이같은 손상이나 기능부진과 관련된 증상이 무엇인가? 그림 4-6은 이와 같은 시도에 도움을 줄 수 있는 Fault Chart이다.

(4) 증상/원인의 확률순위를 나타내라. 예를 들어 실린더 구멍의 막힘, 피스톤 링의 고착, 과도한 재(Ash), 니스와 탄소 침전물 등은 내연기관의 과도 윤회 증상이다. 그러면 이러한 증상중 어떤 증상이 과도 윤회의 증상을 많이 나타내는가? 이는 그림 4-5와 같이 기계의 고장점검에서 증상/원인의 관계에 대한 상대 가능성의 순위를 결정하는 것이 좋은 방법이다.

(5) 수리방법을 나타내라. 수리행위는 명백하고 일반적인 것이어야 한다. 가능한 문제 원인이 규명된 후 취해질 수 있는 방법은 점검, 검사, 조정, 윤회, 청결, 발란싱, 교체, 분석 등이 있다.

다음은 적당한 해설이 덧붙여진 매트릭스 형태의 고장원인 해결 지침이다. 고장원인 해결을 시행할 때 이것을 이용해보기 바라며, 경우에 따라서는 최상의 진단을 위해 컴퓨터를 이용한 기계고장 진단 방법을 개발해야 한다는 것을 명심하여야 한다. 이것이 가능할 때 다양한 형태의 공정기계에 대하여 적절한 고장 통계를 얻을 수 있을 것이다. 또한 이것은 고장에 대한 증상과 고장 원인에 대한 확률적 표현을 가능하게 할 것이다.

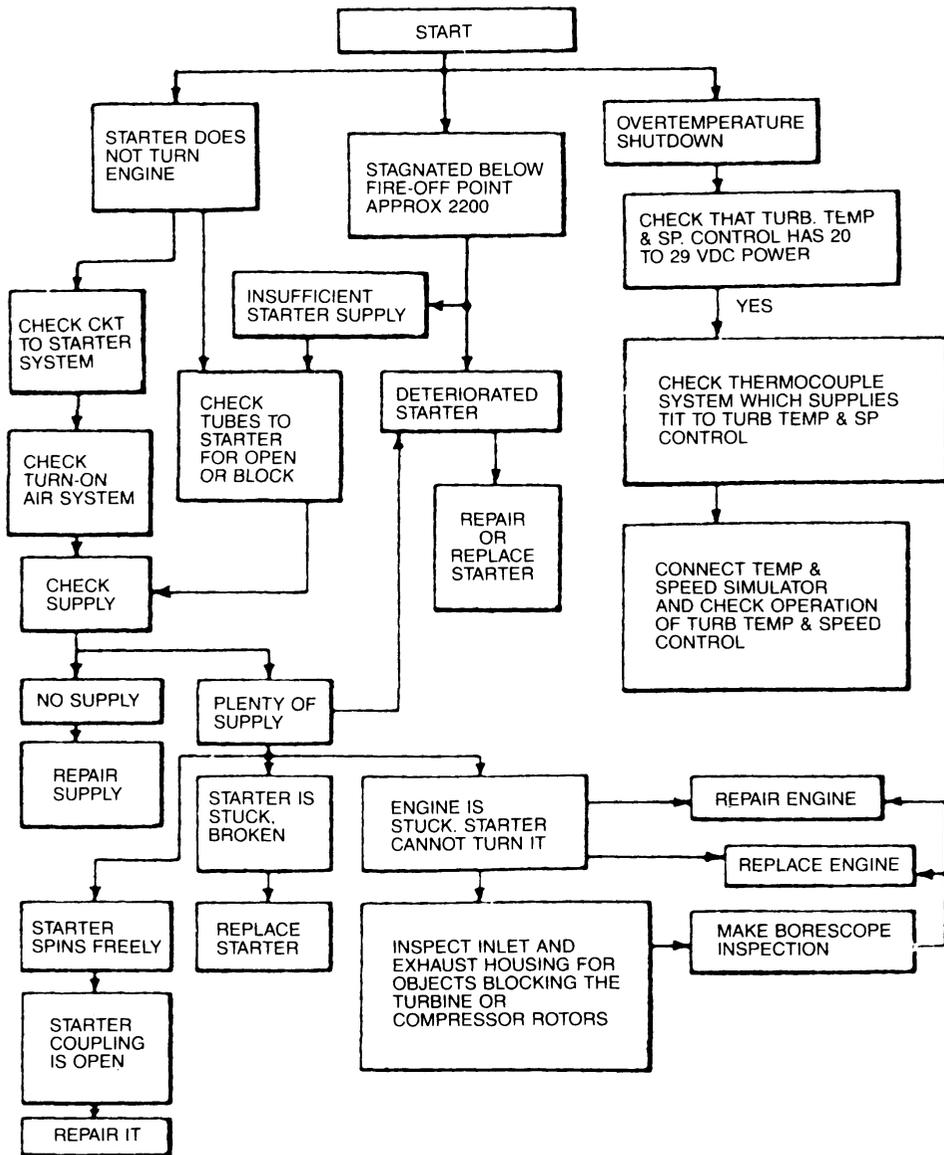


그림 4-6 가스터빈의 고장원인 해결 기법

3. 펌프의 故障 原因 解決 技法 (Troubleshooting Pump)

원심펌프는 석유화학공장에서 자주 사용되는 기계이다. 표 4-5는 주공정 펌프에서 빈번히 접하게 되는 고장을 통계치로 나타낸 것이다.

표 4-6은 가장 일반적인 고장 상태에 대한 고장원인 해결 지침이다. Igor Karassik

는 이러한 상황을 “현장 문제(Field Trouble)”로 언급하였으며, 원심펌프 문제에 대한 그의 점검표는 가장 포괄적인 원심펌프 고장원인 해결 지침중 하나이다. (A-H)의 항목에 작성된 숫자들은 가능 확률을 나타내며 숫자가 작을수록 가능성이 더 높음을 보여준다

표 4-6에서 토출압력 부족(증상 "D")에 대한 주요 원인을 살펴보면 다음과 같은 순서로 가능성이 높다.

- ① 액체내의 비응축성 물질(공기).
- ② 너무 낮은 펌프 속도.
- ③ 잘못된 회전 방향.
- ④ 시스템의 총 수두가 펌프 설계 수두보다 낮음.
- ⑤ 점성이 너무 높음.
- ⑥ 부적절한 2대이상의 펌프 병렬 운전.
- ⑦ 압력 게이지 입구 Sensing Line에 이물질에 의한 막힘.
- ⑧ 내부 마멸 즉, Wear Ring의 마멸.

만약, 하나 이상의 증상이 발견되면 원인에 대한 평균 순위를 구하여 검증 순서를 정한다. 펌프 기동후 이상/정상 상태가 반복된다면 그에 대한 예상 고장 원인의 순서는 표 4-7과 같다. 표 4-8에서 4-12까지는 동일한 방법으로 작성되었다.

표 4-5 원심 펌프의 연간 수리내용 종합

설치된 원심 펌프 대수 : 2560			
임의 시간에서의 원심 펌프 운전 대수 : 1252 (평균)			
1979년에 수리된 총 펌프 : 768,		현장에서 수리된 펌프 : 382	
자체공장에서 수리된 펌프 : 267,		공장(외주)에서 수리된 펌프 : 119	
고장 원인	분포(%)	고장 원인	분포(%)
Mechanical seals	34.5	케이싱 파손/보조 배관	4.8
베어링 결함	20.2	고착	4.3
진동	2.7	성능 결함	2.5
패킹 누출	16.3	기타 원인	4.2
축 결함/커플링	10.5		
계	100.0		

표 4-6 원심 펌프의 고장원인 해결 지침

증 상						증 상					
D 토출 압력 부족						E 짧은 베어링 수명					
C 간헐적인 운전중단						F 짧은 Mechanical Seal 수명					
B 용량 부족						G 진동과 소음					
A 토출 유량 없음						H 과부하					
예상원인	#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	예상 조치
흡입 문제	펌프가 공동현상을 일으킨다 (흡입계의 액체 증발 증상)	1	2	1	1		9	1		1	*NPSHa/NPSHr의 여유 확인 *펌프가 유체 수위보다 높게 설치되어 있는 경우 유체수위를 펌프에 가깝게 올릴 것 *흡입탱크가 펌프 위에 있을 경우 탱크 위치를 높일 것
	유체속에 흡입관이나 Bell이 불충분하게 잠겨 있을 때 (Vertical 터빈 펌프)	2	1	1	1			1		2	*흡입관을 낮추거나 수면을 올릴 것. *계통의 저항을 증가시킬 것.
	펌프의 불충분한 공기 배출	3	1		2					3	*펌프와 흡입관을 액체로 완전히 채울 것. *흡입관의 높은 위치를 제거. *모든 비응축성분(펌프, 배관, 밸브내의 공기)의 제거 *결함있는 Foot 밸브나 체크 밸브의 점검
유체 계통	액체내의 불응축 성분	4		2	3	1				4	*흡입계통/배관을 통한 공기 또는 공기/가스의 유입여부 점검 *가스 분리기 설치
	공급탱크의 고갈 (Empty)	5	3								*공급 탱크 재충수
	배관 또는 펌프 하우징내의 이물질	6		9		7			7	6	*점검과 청소
가능한 원인	#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	가능한 조치

표 4-6 (계속)

증 상										증 상																				
D 토출 압력 부족										짧은 베어링 수명 E																				
C 간헐적인 운전 중단										짧은 Mechanical Seal 수명 F																				
B 용량 부족										진동과 소음 G																				
A 토출 유량 없음										과부하 H																				
가능한 원인										#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	가능한 조치										
유 체 계 통	스트레이너의 부분적 막힘										7		3							7	* 점검 및 청소									
	펌프 임펠러 막힘										8	8	8						5	8	* 손상 여부 점검 및 청소									
	흡입밸브나 배출 밸브 단합										9	9								9	* 펌프 정지후 밸브를 연다									
	점성이 너무 높음										10		7		5				4	10	* 점성 감소를 위해 액체를 가열 * 압력손실 감소를 위하여 출구측 배관 크기 증가 * 정격용량이 큰 것으로 바꾸거나 펌프의 형태 변경 * 펌프 속도를 낮춤									
	비중 높음										11								2	11	* 설계 비중 확인									
	시스템의 총 수두가 펌프의 설계수두보다 작음										12				4			11	3	12	* 설계 유량 확보를 위한 시스템 저항의 증가 * 임펠러 치수 등과 같은 설계 변수의 점검									
	시스템의 총 수두가 펌프의 설계수두보다 큼										13	6	5	4			10	2		13	* 설계 유량 확보를 위한 시스템 저항의 감소 * 임펠러 치수 등과 같은 설계변수의 점검									
기계 계통	병렬운전에 부적합한 펌프										14	7	6		6					14	* 설계 변수 점검									
	부적절한 Mechanical Seal										15							1			15	* 적정 Mechanical Seal 선정 여부 확인								
가능한 원인										#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	가능한 조치										

표 4-6 (계속)

증 상										증 상									
D 토출 압력 부족					짧은 베어링 수명					E									
C 간헐적인 운전중단					짧은 Mechanical Seal 수명					F									
B 용량 부족					진동과 소음					G									
A 토출 유량 없음					과부하					H									
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	가능한 조치							
기 계 통	회전속도가 너무 높을 때	16									1	16	* 전동기 전압 점검 - 전동기속도 낮춤						
	회전속도가 너무 낮을 때	17	4	4		2						17	* 구동부의 고장원인 해결 지침 참조						
	회전 방향이 잘못 되었을 때	18	5			3					6	18	* 케이싱의 화살표시 방향으로 회전하는지 점검 - 전동기 극성을 바꿈						
	임펠러를 반대 방향으로 설치했을 때(양흡입 임펠러)	19		10								12	19	* 검사					
	정렬 불량	20					1	2	4	7	20	* 펌프와 구동부간의 Rim과 Face 정렬 불량 점검							
	배관의 과도한 변형에 의한 케이싱의 비틀림	21					2	3	5			21	* 정렬 불량 점검 * 케이싱과 회전부품간의 마멸 점검 * 배관 하중 분석						
	기초 불량	22								6		22	* 그라우팅(Grouting)을 점검하고 필요시 재 그라우팅 실시						
	축의 휨	23					3	4	7	8	23	* 변형 점검(0.002"를 초과해서는 안됨) 필요시 베어링과 축의 교체							
내부 마모	24				8					9	24	* 임펠러 간극 점검							
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	가능한 조치							

표 4-6 (계속)

증 상											증 상										
D 토출 압력 부족						짧은 베어링 수명 E															
C 간헐적인 운전 중단						짧은 Mechanical Seal 수명 F															
B 용량 부족						진동과 소음 G															
A 토출 유량없음						과부하 H															
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	가능한 조치									
기 계 통	마멸, 녹, 베어링 결함 등과 같은 기계적 결함	25						5	8	10	25	* 결함 부품의 검사-수리 또는 교체 * 윤활 절차서 점검									
	구동부의 불균형	26					5	7	9		26	* 펌프와 분리하여 진동기 단독 운전중 진동 분석									
	펌프의 불균형	27					4	6	3		27	* 고유진동수 측정									
	전동기의 결함	28					6	8	10	11	28	* 전동기의 고장원인 해결지침 참조									
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	가능한 조치									

주의: 원인과 관련한 진동과 베어링 수명의 단축 등에 대해서 베어링 고장 분석과 진동 진단 항목을 참조하라.

표 4-7 가능 원인을 조합하여 만든 평균 순위

예 상 원 인	증 상		순 서
	(C)	(D)	(#)
1. 공동현상	1		1
2. 펌프내 충수안됨	2		2
3. 액체내 불응축 성분 함유	3	1	2*
4. 저속		2	2
5. 회전 방향의 틀림 등		3	3

* 평균 = (3+1)/2

표 4-8 수직 터빈 펌프의 고장원인 해결 지침

증 상					증 상							
C 토출압력 부족					진동 D							
B 용량 부족					비정상 소음 E							
A 토출 유량없음					과부하 F							
가능한 원인				#	A	B	C	D	E	F	#	가능한 조치
유 계 통	펌프 흡입 불능(벨 입구보다 수위가 낮음)	1	1								1	* 수조 수위 점검
	저 수위	2		8							2	* 수위 점검
	저 침수로 인한 공동현상	3							7		3	* 침수 정도 점검
	소용돌이(Vortex)에 의한 문제	4					8				4	* Vortex 방지판 설치
	흡입이나 방출의 재순환	5					7				5	* 설계 유량 확보
	최대 용량을 초과한 운전	6					6	6			6	* 적절한 유량 확보
	공기 함유	7			6						7	* 분리기 설치
	흡입 밸브 닫힘	8	2								8	* 정지 또는 밸브 개방
	흡입 밸브 교착	9		7							9	* 밸브 개방
	스트레이너의 막힘	10	4	6							10	* 검사 및 청소
	임펠러 교착	11	3		4						11	* 펌프 인출 및 청소
	임펠러 또는 Bowl의 막힘	12		4					8		12	* 펌프 인출 및 청소
	임펠러 다듬질 불량	13		2	2					3	13	* 임펠러 치수 점검
기 계 통	부적절한 임펠러 조정	14					9		2	14	* 설치/수리 기록 점검	
	임펠러의 느슨함	15	7	3	3					15	* 펌프 인출 및 분석	
	Bowl 케이스와 임펠러 마찰	16						5		16	* Lift Check	
	Wear Ring의 마멸	17			5					17	* 정기 점검중 검사	
	축의 휨	18					5		5	18	* 펌프 인출 및 분석	
	축의 파손 또는 나사부 풀림	19	6							19	* 펌프 인출 및 분석	
	밀폐 튜브 파손	20						4		20	* 펌프 인출 및 분석	
가능한 원인				#	A	B	C	D	E	F	#	예상 조치

표 4-8 (계속)

증 상					증 상					
C 토출압력 부족					진 동 D					
B 용량 부족					비정상 소음 E					
A 토출 유량 없음					과 부 하 F					
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	#	가능한 조치
기 계 시 스 템	운전 베어링의 윤활부족	21					2		21	* 윤활 공급
	베어링 마멸	22				6			22	* 펌프 인출 및 수리
	베어링 리테이나 파손	23					3		23	* 펌프 인출 및 분석
	회전방향 틀림	24	5	9	8				24	* 회전방향 점검
	너무 낮은 회전속도	25		1	1				25	* 회전속도 점검
	너무 높은 회전속도	26						1	26	* 회전속도 점검
	배관 변형으로 인한 펌프의 정렬 불량	27					4		4	27 * 검사
	연결부의 누설	28		4	5				28	* 검사
	모래, 침니, 불순물의 펌핑	29							6	29 * 펌핑 유체 점검
	전동기 소음	30						1	30	* 소음 레벨 점검
	전동기의 전기적 불균형	31					1		31	* 상간 불균형 점검
	전동기 베어링 문제	32						2		32 * 전동기/베어링 고장수리 지침 참조
	전동기 구동 커플링의 불균형	33						3		33 * 검사
	공진 : 펌프 운전 속도 근처에 계의 고유진동수가 존재	34						10		34 * 진동 분석
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	#	가능한 조치

표 4-9 소방펌프의 고장원인 해결 지침

가능한 원인	증상											
	#	토출량에 비해 너무 낮은 토출압	불분출량	기동 후 펌프 흡입음이	동일 유량에 대해 토출압이 일정 않음	과부하	펌프 소음 및 진동	토출량이 없음	펌프 불동능	펌프 또는 구동부 열	스터핑 박스에 과도 누설	#
흡입계통	흡입 양정이 너무 높다.	1	•	•	•		•	•				1
	Foot 밸브가 너무 작아 부분적으로 차단되거나 과도한 흡입 수두 손실을 가져오는 설계 불량	2	•	•	•	•		•				2
	흡입 연결부로 공기 유입	3	•	•	•	•		•				3
	흡입 연결부의 누설을 통한 공기 유입	4	•	•	•	•			•			4
	흡입 연결부의 장애	5	•	•	•				•			5
	흡입관내의 에어 포켓	6	•	•	•				•			6
	과도한 흡입 양정으로 인한 유체 공동현상	7	•	•					•			7
	심각한 손상 또는 정렬 불량	8					•	•		•	•	8
펌프	스터핑 박스를 너무 조이거나 패킹의 부적절한 설치, 마멸, 결함, 과도한 조임, 부적당한 형식	9	•			•	•		•	•	•	9
	Seal 불량	10	•	•	•	•				•		10
	스터핑 박스를 통하여 펌프 내로 공기 누입	11	•	•	•	•						11
	임펠러 막힘	12	•	•			•	•	•		•	12
	Wear Ring의 마멸	13	•	•			•					13
	임펠러 손상	14	•	•			•					14
	부적절한 임펠러 직경	15	•	•			•			•		15
	정격보다 낮은 실제 정미 낙차	16	•	•								16
	내부 누출을 허용하는 케이싱 가스켓 결함(다단펌프의 경우)	17	•	•			•					17
	펌프 케이싱 상부의 압력 게이지 불량	18	•									18
	임펠러 조정 불량(수직 펌프인 경우)	19		•			•		•	•		19
	임펠러 고착	20							•			20
	펌프 동과	21							•			21

표 4-9 (계속)

가능한 원인		증상											
		#	토출량에 비해 너무 낮은 토출압	불충분한 토출유량	기동 후 펌프 흡입량 적음	동일 유량에 대해 토출압 일정치 않음	과부하	펌프 소음 및 진동	토출수량이 없음	펌프 불능	펌프 또는 구동부 과열	스터핑 박스에 서의 과도 누설	#
펌프	펌프 축 또는 축슬리브의 Scoring, 휨, 마멸	22					•	•			•	•	22
	펌프 Primming이 않됨	23							•		•		23
	스터핑 박스에 Seal Ring이 부적절하게 위치함	24			•						•		24
구동부/펌프	마멸, 오염 물질, 녹, 파손, 부적절한 설치로 인한 베어링의 과도한 마찰	25					•	•		•	•		25
	고정부와 회전부와의 구속	26					•	•			•		26
	펌프와 구동부의 정렬불량.	27					•	•			•	•	27
	베어링 마멸 또는 축정렬 불량으로 인한 축중심의 이탈	28									•		28
	기초가 약함	29									•		29
	엔진 냉각 계통의 장애 열 교환기나 냉각수 계통의 용량 부족. 냉각수 펌프 결함.	30									•		30
구동부	구동부 결함	31					•	•		•	•		31
	윤활 부족	32	•	•									32
	너무 낮은 회전속도	33	•	•							•		33
	회전 방향이 틀림	34									•		34
	너무 높은 회전속도	35									•		35
	전동기 정격전압과 계통 전압이 다름. 즉, 220 또는 440V의 전동기 전압에 대한 208 또는 416V의 계통 전압	36	•	•				•			•		36
	전기회로 결함, 연료 계통이나 증기 배관의 차단, 배터리의 방전	36									•		36

표 4-10 로터리 펌프의 고장원인 해결 지침

증 상						증 상					
D 과도한 마멸						과열 E					
C 기동, 그러나 Priming 상실						진동과 소음 F					
B 용량 부족						과부하 G					
A 토출유량 없음											
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	#	가능한 조치
유체계통	흡입필터 또는 스트레이너 막힘	1		1				1		1	* 스트레이너 또는 필터의 청소
	펌프의 Dry 운전	2	2			2	1	4		2	* 재충수
	유체 공급 부족	3		2	4	3			3	3	* 흡입 저해 또는 흡입수의 저하 확인
	액체내 잠기지 않은 흡입관	4	4		3					4	* 흡입관 연장 또는 수위 증가
	흡입관내 공기 생성	5		4	2				5	5	* NPSH 점검과 흡입관내 이물질 점검
	흡입관 또는 축 Seal 부위로 공기 누입	6		3	1				6	6	* 모든 연결부를 조이고 밀폐 * 패킹 조정, Mech. Seal 수리
	유체내의 고형물 또는 오염	7				1				7	* 계통 청소 * 필터 설치
	유체의 점도가 설계치보다 높음	8							1	8	* 중간 점성으로 감소 * 펌프속도 감소 * 구동 마력 증가
	과도한 토출압력	9		5			7		9	2	9
기계적문제	펌프 케이싱의 배관 변형	10				5	4	8	5	10	* 배관을 분리하고 플랜지 정렬 점검
	체인구동부, 벨트구동부, 커플링의 정렬 불량	11				6	3	2	4	11	* 재정렬
	회전부품의 구속	12				4	2	7	3	12	* 분해 점검
	내부 부품 마멸	13		7						13	* 점검 및 마멸부품 교체
	너무 낮은 회전속도	14		6						14	* 구동속도 점검
	회전 방향 틀림	15	3							15	* 점검 및 필요시 방향 절환
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	#	가능한 조치

표 4-11 왕복동 펌프의 고장원인 해결 지침

증 상											증 상											
D 과잉 마멸 - 액체단											과도마멸-부하단 E											
C 짧은 패킹 수명											과열-부하단 F											
B 용량 부족											진동과 소음 G											
A 토출 유량 상실											지속적인 노킹 H											
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	예상 조치										
흡입계통	과도한 흡입 양정	1	1								1	* 보조 펌프를 이용한 흡입 양정 감소 * 펌프, 배관, 밸브 등에서 비응축성 공기 제거 * 흡입관의 높은위치 제거 * Foot 밸브 또는 체크 밸브 점검										
	포화증기압 이상의 압력에서 불충분한 흡입압력	2	2								2	* 흡입관의 높은위치 제거 * Foot 밸브 또는 체크 밸브 점검										
	액체내의 불응축성 가스(공기)	3									3	* 기수 분리기 설치										
	실린더 충수 안됨	4	4		3							4	* 펌프 Primming * 흡입 배관에 Foot밸브 설치 * 공급 탱크내의 와류(보조펌프 설치)									
	체적 효율이 낮음	5										5	* 실린더내 저비중 액체를 사용, 또는 토출압 높이고, 실린더에서 압력 낮춤									
	공급 탱크 비어있음	6										6	* 공급 탱크 충수									
운전조건	배관내 이물질 존재	7	4							5	7	* 점검 및 청소										
	액체내의 연마제 또는 부식제	8			4	1					8	* 유지 정비 기간 조정 * 설계변경 고려										
	안전변 또는 바이패스 밸브 누설	9		4							9	* 점검과 수리										
밸브/실린더/피스톤/피스톤로드	펌프 회전속도 부적절	10		7					5		10	* 벨트의 Slip여부 점검(TSG 참조) * 구동속도 점검										
	1개 또는 그이상의 실린더 운전 불능	11		5							11	* 실린더 정지 및 Primming										
	펌프측 밸브 고착	12		6							12	* 손상여부 및 청소상태 점검										
	밸브 스프링 파손	13		8		3				6	13	* 점검 및 교체										
	밸브, 시트, 라이너, 로드, 플린저등의 마멸	14	5	9		4						14	* 점검 및 교체									
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	가능한 조치										

표 4-11 (계속)

증 상						증 상						
D 과잉 마멸 - 액체단						과 잉 마멸 - 부하단 E						
C 짧은 패킹 수명						과열 - 부하단 F						
B 용량 부족						진동과 소음 G						
A 토출 유량 상실						지속적인 노킹 H						
예상원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	예상 조치
밸브 / 실린더 / 피스톤 / 로드	부적절한 패킹의 사용	15			1						15*	지침서 개발
	로드 또는 플런저의 손상	16	10								16*	재연삭 또는 교체
	로드 또는 플런저의 정렬 불량	17			2						17*	검사 및 재정렬. 공차:최고 0.003"의 편심
	피스톤 또는 로드 의 헐거움	18								1	18*	점검과 수리
크로스 헤드 베어링	크로스헤드 핀 또는 크랭크 핀의 헐거움	19								2	19*	조정 또는 교체 * 적정 간극 확인
	크로스헤드 또는 가이드의 마멸	20			3			4			20*	조정 또는 교체
	기계적 문제:마멸, 녹, 베어링 결함	21					1	3	1	3	21	* 부품의 결함정도 점검, 수리, 교체 * 베어링 고장 분석 지침 참조 * 윤활 상태 점검
	부적절한 윤활조건	22					2	1	2		22*	* 윤활계획 수립 * 크랭크 케이스의 윤활 설계 재검토
부하 구동	부하단으로의 액체 유입	23					5	2			23*	패킹 및 부품의 교체
	기어 고장	24					4		7	4	24*	기어 TSG 참조
	구동부 고장	25							8		25*	적정 TSG 참조
	과부하	26					3				26*	설계의 재검토
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	가능한 조치

표 4-12 액체링 펌프의 고장원인 해결 지침

예상 원인	증상				
	소음 과도	진동 증가	과열 증가	용량 감소	동력소비 증가
너무 낮은 회전속도				③	
흡입관 누설				①	
공급액의 온도가 매우 높음*			①	②	
공급액의 레벨이 매우 높음	①	②		④	①
공급량 부족			②	⑤	
커플링의 정렬 불량	②	①	③		②

* 불충분한 열제거

주의: 숫자는 점검순위 또는 증상에 대한 가능 원인 순위를 나타낸다.

4. 遠心 壓縮機, 블로어, Fan의 故障 原因 解決 技法 (Troubleshooting Centrifugal Compressors, Blowers, and Fans)

석유화학 공장의 원심 압축기, 블로어, Fan 등은 예비기가 없는 것이 보통이다. 예비기가 없는 원심 압축기 트레인은 에틸렌을 연간 800,000 metric 톤(약 1.76 billion lbs)씩 생산하는 증기 분해기의 모든 운전을 감당한다. 이러한 규모의 공장이 불과 몇 시간 정도의 비상 정지가 될 경우 운전손실만 해도 \$400,000 이상이 된다. 그러므로, 원심 압축기의 고장을 적절한 시기에 인지하는 것이 매우 중요하다. 표 4-13에 원심 압축기나 블로어에서 발생하기 쉬운 고장들을 나타냈다.

표 4-14는 원심 압축기와 그 운할 계통의 고장원인 해결 지침이다. Fan과 블로어와 같은 다른 형식의 원심기계에 대해서도 유사한 지침들이 있을 것이다. 표 4-14가 고장 사항 전부를 포함하기에는 부족하기 때문에, 진동을 야기하는 증상과 베어링, 기어, 커플링의 고장 분석 및 고장원인 해결에 관한 사항은 본서의 다른 부분을 참조하라.

표 4-13 공장내 주요 터보압축기의 예상치 못한 정지 건수 분포

년간 트레인당 고장 정지수 : 2				
고장 원인	추정 빈도	추정 평균 운전 정지시간		
		Hrs/Event	Events/Yr.	Hrs/Yr
회전체/축	22%	122	44	54
계장	21%	4	42	2
레디얼 베어링	13%	28	26	7
블레이드/임펠러	8%	110	16	18
스러스트 베어링	6%	22	12	3
압축기 시일	6%	48	12	6
전동기 권선	3%	200	06	12
다이어프램	1%	350	02	7
기타 원인	20%	70	40	28
합 계	100%		2.00	137 hrs

표 4-14 원심 압축기와 윤활 계통의 고장원인 해결 지침

증 상							증 상						
D 낮은 윤활유 압력							과도한 베어링 배유 온도 E						
C 토출압력의 감소							축정렬 상태의 변화 F						
B 압축기의 씨지							윤활유내 수분 혼입 G						
A 과도한 진동													
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	#	가능한 조치방법		
로터 / 베어링계통	과도한 베어링 간극	1	13							1	* 베어링 교체		
	베어링의 Wiping	2					7			2	* 베어링 교체 * 원인 파악 및 수리		
	회전축 저널면의 거칠음	3					9			3	* 저널 연마 * 축 교체		
	축의 휨(균일하지 않은 가열 및 냉각에 의함)	4	8							4	* 진동이 멈출때까지 저속운전후 정상속도까지 서서히 승속 * 만일 진동이 계속되면 정지 및 조치		
	임계 속도 범위에서 운전	5	9							5	* 임계속도 범위 밖에서 운전		
	Rotor에 이물질 부착	6	10	4						6	* 회전체 손질 * 균형 점검		
	디퓨저에 이물질 부착	7		3						7	* 디퓨저 청소		
	Rotor의 불평형	8	11							8	* 로터의 러빙음 발생여부 확인 * 로터의 중심, 청결, 부품이완 상태 점검 * 밸런싱 실시		
	Rotor 손상	9	12							9	* 로터의 수리 및 교체		
	Rotor 부품의 이완	10	15							10	* 헐거운 부품의 수리 및 교체		
커플링	축정렬 불량	11	5							11	* 운전온도 상태의 축정렬 점검 * 축정렬		
	기어 커플링의 윤활 불량	12	6							12	* 커플링 윤활		
	커플링 마멸 또는 손상	13	7							13	* 커플링 교체 * 손상 분석의 수행		
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	#	가능한 조치		

표 4-14 (계속)

증 상							증 상									
D 낮은 윤활유 압력							과도한 베어링 배유온도 E									
C 토출압 감소							측정될 상태의 변화 F									
B 압축기의 씨지							윤활유내 수분 혼입 G									
A 과도한 진동																
가능한 원인			#	A	B	C	D	E	F	G	#	가능한 조치				
운 전 조 건	액체의 Slugging		14	14							14	* Slugging 원인 파악 및 제거 * 압축기 케이싱내의 액체 배수				
	씨지 범위에서의 운전		15	16								15	* 진동이 멈출때까지 속도 증감속 * 진동 분석 지침 참조			
	유량 부족		16		1							16	* 재순환 유량의 증가			
	이물질이나 부적정한 밸브 개도에 의한 계 의 저항 변화		17		2							17	* 입출구 밸브 개도 점검 * 이물질 제거			
	압축기 속도 정격 이하		18			1						18	* 정격 운전속도로 승속			
	과도한 입구온도		19			2						19	* 원인에 대한 조치			
	토출관의 누설		20			3						20	* 누설 부위 정비			
	진동		21						7			21	* 증상 항목 중 "A" 참고			
공진		22		4							22	* 근접한 기계가 기초 또는 배 관 공진에 의하여 일정속도 에서뿐만 아니라 Unit 정지 시에도 진동을 야기 시킬 수 있음. 정확한 측정을 위해서는 상세한 조사가 필요함.				
조 립	부품 조립 불량		23		1						23	* 정지, 해체, 점검, 수정				
	볼트 풀림, 파손		24		2							24	* 지지물 볼트 조임상태 점검 * 베드 플레이트 볼트 조임상 태 점검 * 재조임 또는 교체 * 분석			
가능한 원인			#	A	B	C	D	E	F	G	#	가능한 조치				

표 4-14(계속)

증 상							증 상						
D 낮은 윤활유 압력							과도한 베어링 배유 온도 E						
C 토출압 감소							축정렬상태의 변화 F						
B 압축기의 씨지							윤활유내 수분 혼입 G						
A 과도한 진동													
가능한 원인			#	A	B	C	D	E	F	G	#	가능한 조치	
지 지 계 통	배관 변형	25	3						1		25	* 배관 정렬상태 점검 및 배관 지지장치, 스프링, 신축이음부 상태 점검	
	기초 또는 Bed Plate의 변형	26							2		26	* 기초지지 교정 점검 * 지지기반 수정 * 기초 케이싱 주위 온도 점검	
윤 활 계 통	윤활유 압력계 또는 스위치의 결함	27				1					27	* 교정 또는 교체	
	온도계나 스위치 결함	28						2			28	* 교정 또는 교체	
	오일 저장탱크 Level 낮음	29				2					29	* 오일 추가	
	오일 스트레이너/필터의 막힘	30				5					30	* 오일 스트레이너, 필터 카트리지의 청소 또는 교정	
	안전변 설정치 부적합 또는 Open상태에서 고착	31				8					31	* 릴리프 밸브 조정 * 교정 또는 교체	
	압력 조절밸브 Setting 불량	32				9					32	* 조절 밸브의 Setting치 점검	
오일 상태 불량, 또는 베어링 표면에 점착성 침전물 생성	33							4			33	* 오일 교체 * 필터 또는 윤활유 스트레이너 점검 * 베어링 점검 * 적정오일이 사용되고 있는가를 확인(오일 공급자)	
가능한 원인			#	A	B	C	D	E	F	G	#	가능한 조치	

표 4-14 (계속)

증 상						증 상						
D 낮은 윤활유 압력						과도한 베어링 배유 온도 E						
C 토출압 손실						축정렬 상태의 변화 F						
B 압축기의 씨지						윤활유내 수분 혼입 G						
A 과도한 진동												
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	#	가능한 조치	
운 활 계 통	냉각수 공급 부족	34					5			34	* L.O Cooler에 냉각수 공급증가 * 냉각수 입구 온도 점검(설계 온도 이상의 온도 여부)	
	오일 Cooler 오염	35					6			35	* L.O Cooler 청소 또는 교체	
	보조오일 펌프가 정지중 저속으로 운전됨(주윤활유 펌프가 축구동인 경우)	36				7				36	* 보조 윤활유 펌프 운전 또는 증속을 통한 오일압 증가	
	베어링 윤활유 오리피스 의 탈락 또는 막힘	37				11				37	* 윤활유 오리피스 설치 상태 및 막힘 여부 점검 * 오리피스 위치 점검을 위한 윤활유 계통 도면 참조	
	오일 펌프 흡입부 막힘	38				3				38	* 펌프 흡입부 청소	
	오일 펌프 흡입관의 누설	39				4				39	* 누설 연결부위 조임 * 가스켓 교체	
	MOP와 AOP 파손	40				6				40	* 펌프 수리, 교체	
	오일 누설	41				10				41	* 플랜지 또는 연결부 조임 * 결합 개스킷 또는 부품의 교체	
	오일 Cooler 막힘 (오일측)	42					1			42	* 오일 Cooler 청소 및 교체	
	윤활유 유량 부적절	43					3			43	* 증상 항목중 "D" 참조 * 압력이 정상이면 베어링으로의 오일 흐름상태 점검.	
윤활유내 수분 함유	44					8			44	* 증상 항목중 "G" 참조		
튜브 판 또는 윤활유 냉각관의 누설	45							1	45	* 튜브의 수압시험 및 수리 * 냉각수의 전기적 작용으로 누설이 생긴다면 좀더 자주 방식 붕(Zinc) 교체		
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	#	가능한 조치	

표 4-14 (계속)

증 상							증 상						
D 낮은 윤활유 압력							과도한 베어링 배유 온도 E						
C 토출압 감소							축정렬 상태의 변화 F						
B 압축기의 씨지							윤활유내 수분 혼입 G						
A 과도한 진동													
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	#	가능한 조치		
윤 활 계 통	오일 탱크내 응축	46								2 46	* 유수분리를 위하여 탱크내의 최소온도를 120°F로 유지시킴. * 정지중 오일냉각기로 냉각수 공급방지 * 윤활유 관리 지침 참조		
											주의: 커플된 기계에서 진동이 전달되기도 한다. 진동을 국한시키기 위해서는 커플링을 해체하고 구동기만 운전하라. 진동을 야기시키는 것이 구동기계인지 종동기계인지를 아는데 도움이된다.		
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	#	가능한 조치		

5. 往復動 壓縮機의 故障 原因 解決 技法

(Troubleshooting Reciprocating Compressors)

밸브와 피스톤 링은 왕복동 압축기의 운전중 고장요인으로 자주 발생하는 취약부이다. 캐나다 3개 정련소에서 5년간의 운전으로 얻어진 압축기에 대한 통계는 표 4-15와 같다.

표 4-15 왕복동 압축기의 기본 고장 원인 분포

기본적인 고장 원인	분포도(%)
밸브	41.0
피스톤 링	14.0
실린더	1.0
피스톤	3.0
피스톤 로드	10.0
패킹	10.0
윤활제/윤활 계통	18.0
크로스헤드	1.0
크랭크축	1.0
베어링	1.0
제어 장치	1.0

5.1 밸브류 (Valve)

압축기의 밸브를 고장없이 사용하기 위해서는 압축되는 가스의 질, 성상, 압축기의 사양과 치수, 운전조건 등의 심도있는 분석이 필요하다. 그 다음에 효율과 내구성을 적당히 고려하여 적절한 밸브를 선택하면 된다.

많은 제조회사에서 다양한 제품의 압축기 밸브가 제조되고 있으며 대표적인 밸브의 설계목록은 다음과 같다.

- 단일 또는 다중링 밸브 (Single- And Multi-Ring Valves).
- 판 밸브(Plate Valves)
- 링-판 밸브(Ring-Plate Valves)
- 채널 밸브(Channel Valves)
- 페더스트립 밸브(Feather-Strip Valves)

① **단일 또는 다중링 밸브**는 왕복동 공정가스 압축기에 가장 일반적으로 사용되는 밸브이다. 밸브는 그림 4-7과 같이 하나 또는 그 이상의 각개의 스프링으로 하중을 받는 동심원의 밸브 링으로 구성되어 있다. IIC 피라미드 링 밸브(IIC Pyramid Ring Valve)와 같은 단면을 가진 Ring을 사용하는 Ring-type의 밸브는 가스유동저항을 낮추어 효율을 개선할 수 있도록 설계된다.

다중 밸브링의 개폐시 적절한 타이밍을 얻기 위하여 각기 다른 밸브링에 걸리는 스프링 하중의 분포에 주의하는 것이 중요하다.

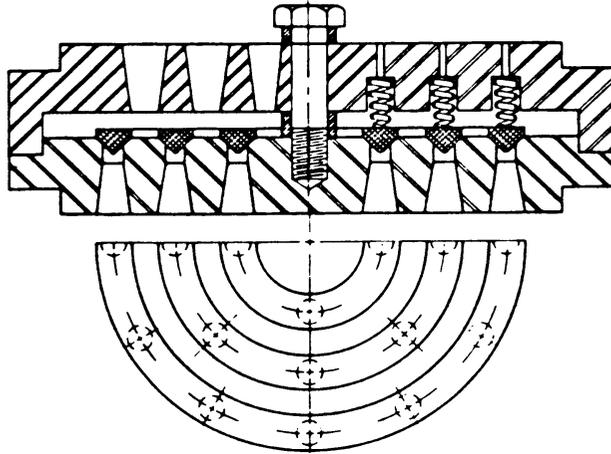


그림 4-7 피라미드 링 밸브

② 판 밸브(그림 4-8)는 밸브 요소용 홈이 파여져 있는 디스크와 댐핑용 스프링을 사용한다.

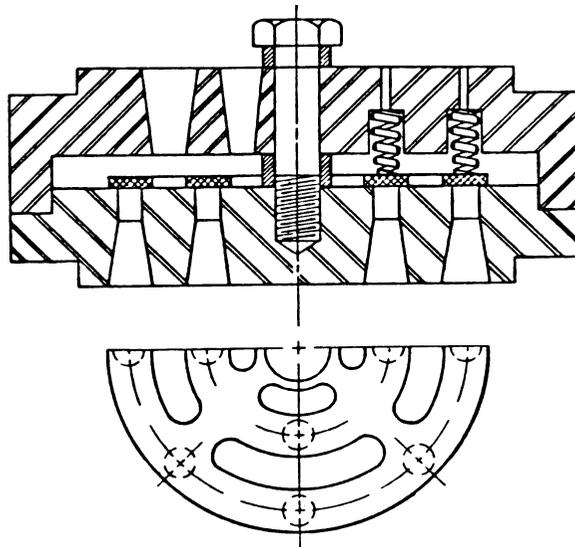


그림 4-8 판 밸브

이 Hoerbiger 설계는 밸브 전영역에 스프링 하중이 균등하게 분포되도록 설계된다. 적절한 댐핑을 위해서는 보통 강한 스프링력을 필요로 하기 때문에, 일반적으로 이러한 형태의 밸브에서는 유동효율에 나쁜 영향을 주지 않고 적절한 댐핑작용을 얻기가 어렵다.

Hoerbiger 밸브 플레이트와는 별개의 스프링 하중을 받는 비교적 두꺼운 댐핑 플레이트의 사용은, 밸브의 슬래밍(Slamming) 현상을 피하기 위해 충분한 댐핑을 가지면서, 적은 스프링 하중으로도 신속하게 밸브 플레이트를 열 수 있도록 하기 위한 것이다.

③ **링-판 밸브**는 다중링 밸브와 판밸브를 혼합한 형태이다. 일반적으로 이것은 밸브 구성요소로서 두개의 동심원으로 된 홈이 파인 링 플레이트를 사용하며, 잘 고안된 밸브이기는 하지만 완충이나 댐핑에 약간 제한을 받는다. 이러한 형식의 밸브의 주 생산업체는 Cooper Bessener이다.

④ **채널밸브**(그림 4-9)는 Ingersoll-Rand가 설계하였고, 밸브 시트, 안전장치, 얇은 판스프링으로된 채널, 채널을 지지하는 가이드 등으로 구성되어 있다. 때로 정비를 용이하게 하고 내마멸성으로 개선하기 위해 스텐레스강 Seat 판을 겹쳐 사용하기도 한다.

각 채널에는 판 스프링(Leaf Spring)이 장착되어 있고, 이 판 스프링으로 Slot 모양의 Port를 덮은 상태로 개별적으로 운전된다. 동일 밸브의 다른 채널에 분포하는 스프링 하중은 채널 개폐시 적절한 타이밍을 맞추는데 매우 중요하다.

판 스프링과 채널 사이에 작은 가스공간이 존재하며, 이곳은 밸브가 열릴때 채널이 쉽게 멈출 수 있도록 공기 완충작용을 한다.

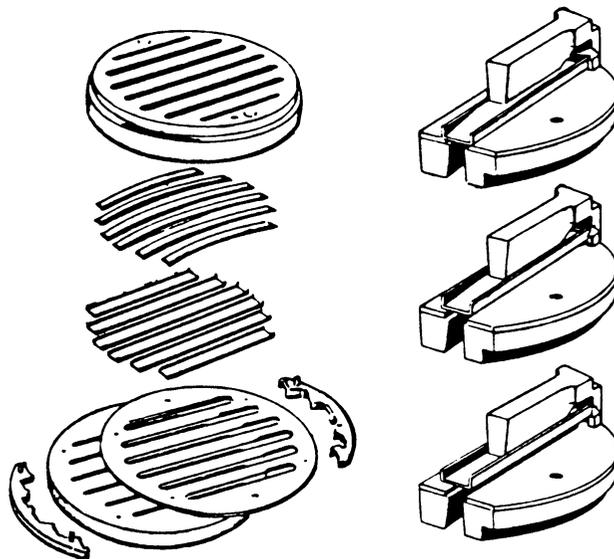


그림 4-9 채널 밸브

⑤ **페더형 밸브**(그림 4-10)의 설계는 매우 단순하다. Worthington에 의해 제작된 이 밸브는 시트와 안전장치 그리고 몇 개의 Feather Strip으로 구성되어있다. 이러한 Feather Strip은 가스가 통과할 수 있도록 유연하게 움직이는 여러개의 Steel Strip으로 이루어져 있으며, Strip의 양쪽 끝에서 중앙까지의 접촉면적을 증가시킴으로써 충격을 주지 않고 용이하게 밸브를 동작시킨다. 이러한 형식은 비교적 큰 Seat부, 리프트부, 안전장치부를 가지고 있는 밸브에 효과적이다. Feather Strip은 완충작용이 없기 때문에 비교적 큰 기계적 마멸이 발생된다.

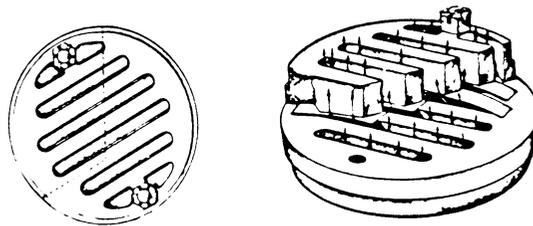
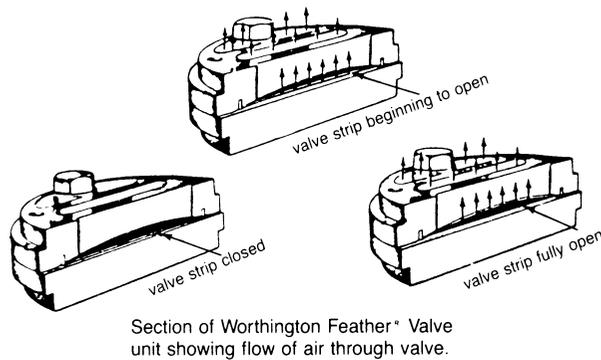


그림 4-10 페더형 밸브

5.2 밸브의 故障 原因과 整備

(Valve Failures Causes and Their Remedies)

밸브의 고장은 일반적으로 다음 3가지 항목으로 분류할 수 있다.

- 기계적 마멸과 피로.
- 가스 유동내의 이물질.
- 밸브 부품과 압축기 밸브 장비의 비정상 동작.

① **기계적 마멸과 피로.** 정상적인 경우 압축기 밸브의 기계적 마멸은 밸브 부품들의 접촉부에서 발생한다. 밸브 요소 가이드의 지속적인 마멸은 순조롭지 않은 밸

브동작, 막힘, 안착불량, 누설, 성능저하 등을 초래한다. 부품에서의 마멸은 정기적으로 점검 수리되어야 한다.

정상적인 운전상태에서도 밸브 운동부는 주기적이고 기계적이며 열적인 응력을 받게 된다. 운전조건에 따라 밸브 부품의 강도도 고려되어야 한다. 특수한 운전 조건에서 운전되는 밸브 부품의 마멸은 윤활을 통하여 최소화할 수 있다. 이 경우 합성유가 광물성유보다 더 뛰어난 성능을 발휘한다.

밸브 운동부에 적절한 댐핑이나 완충력을 주어 기계적인 피로하중을 줄일 수 있다. 적절한 실린더와 중간단의 냉각은 밸브 부품에 생기는 열응력을 최소화할 수 있다.

압축기 밸브의 마멸과 피로는 가스 유동내의 이물질과 밸브의 비정상 동작으로 심각하게 악화될 수 있다.

② **가스 유동내의 이물질.** 이물질은 오염된 가스, 액체의 Carryover, 코우크스나 탄화물 형성(Coking and Carbon Formation), 부식성 화학물질 등이다.

㉠ **오염된 가스 :** 부적절한 여과 장치로 인하여 가스 유동 내부에 이물질이 존재하는 것을 말한다. 이는 압축기 입구의 가스 통로부에서 떨어져 나온 입자로서 미세하고 모래 같은 입자 또는 연마입자이며, 때로는 이전에 발생한 밸브 파손물들이 압축기 내부에 남아 있는 경우도 있다. 이러한 이물질들은 링, 플레이트, 가이드 등과 같은 밸브 부품의 마멸을 가속시킨다. 스프링 코일사이의 불순물은 스프링을 급격히 손상시키고, 다른 밸브 부품들의 성능과 수명에 직접적인 영향을 미친다.

㉡ **액체의 Carryover :** 액체가 화학공정중 가스 유동속으로 혼입되거나 압축 계통의 중간 냉각기에서의 응축과정에서 형성될 수 있다. 대부분의 경우 이러한 액체는 Water Jacket에서의 과도하게 차가운 냉각수가 흡입가스의 응축이나 수분 생성을 촉진시키기 때문에 1단 압축기에서 형성된다. 액체의 생성은 특히 밸브에 치명적인데, 체적탄성계수(Bulk Modulus)가 높아 밸브 시트를 손상시키며, 가스 유동중 액체가 존재하면 압축기 내부에 사용되는 윤활제를 희석시켜 기계 부품의 마멸을 가속시킨다.

수분으로 인한 손상을 방지하기 위해 배관 안에 수분 트랩(Moisture Trap)을 사용하여야 하며, 중간단의 기수분리기와 함께 주기적으로 수분을 배수해야 한다. 배관 설계시에는 수분이 모이기 쉬운 저충부가 없도록 하여야 하며 육안 점검을 위한 점검창(Sight Glass)이나 유사 장치가 설치되어야 한다.

㉞ **코우크스 및 탄화물의 형성** : 과도한 열은 윤활유의 코우크스화와 비용해물질을 포함하는 가스의 중합 반응을 일으키는데, 이러한 오염 물질들은 압축기 효율을 저하시키고 심각한 밸브 손상을 유발한다. 실린더와 밸브 세척을 위해 증기 또는 솔벤트를 무화시켜 압축기 내에 주기적으로 분무시키거나, 마찰 계수가 작고 코우크스에 내성이 우수한 2염기성 에스테르(Dibasic Ester) 타입의 합성 윤활제의 사용을 고려하여야 한다.

㉟ **부식성 화학 물질** : 부식은 밸브 Seat면에서의 누설을 발생시키고 밸브 몸체를 약하게 만들어 밸브의 손상을 유발시킨다. 상이한 밸브 재료를 사용하거나, 화학물질들이 압축기에 유입되기 전에 부식 매개체를 제거, 또는 감소시키기 위한 가스 세정기를 사용함으로써 이를 최소화할 수 있다. 또한 압축기 입구에서 수분을 제거하거나 가스를 가열함으로써, 산과 같은 부식 작용제의 형성을 방지 또는 감소시킬 수 있다.

일반적으로 부식은 수개월에 걸쳐 점진적으로 발생한다. 밸브의 고장에 대비하여 기계장치내의 모든 밸브는 점검과 정비가 병행되어야 하며, 정지시간을 최소화하기 위해 예비품을 준비해 두는 것도 좋은 방법중 하나이다.

③ **밸브 부품의 비정상 작동.** 이는 흡입과 토출 배관의 압력 맥동과 공진의 영향, 가스 유동 형태에 따른 교란 및 밸브 부품의 불규칙 진동(Fluttering), 슬래밍(Slamming) 등을 말한다.

정상적인 압축기의 운전중 피스톤이 실린더 밖으로 가스를 밀어내는 Open과정 중에 배출밸브에서 슬래밍이 발생되기 쉽다. 이는 피스톤이 밸브 Seat를 떠나 Guard쪽으로 향할 때, 밸브요소의 동작을 완충시키는 댐핑용 스프링이나 공기식 완충장치를 이용하여 감소시킬 수 있다. 슬래밍이 발생할 수 있는 또 다른 상황은 압축기 밸브가 닫혀질 때이다.

밸브 개폐시에는 밸브 요소의 관성 문제가 극복되어야 한다. 만일 밸브 요소의 관성이 크면 상대적으로 개폐시간이 길어진다. 높은 관성 때문에 밸브가 늦게 닫히고 밸브 스프링 대신 가스 역유동(Gas Backflow)에 의해 밸브가 닫히게 되어 결국 밸브 요소가 Seat면에 세게 내려닫히는 Slamming 현상이 발생된다. 일반적으로 슬래밍 현상이 발생되면 밸브 요소가 Seat면에 접촉되는 부위에 반점 모양이 생기며, 흔히 Chattering과 같은 소음을 압축기 외부에서 들을 수 있다.

이러한 문제는 밸브 행정을 감소시키거나 밸브 타이밍 조정을 위한 스프링의 탄성율을 증가시킴으로써 해결할 수 있다. 또는 여건이 허락되면 밸브 요소를 가

버운 중량의 금속으로 변경하여 해결할 수도 있다. 페놀이나 섬유강화의 플라스틱으로 만든 밸브 요소는 유사한 강 재료보다 가볍고 충격 흡수가 양호하지만, 이러한 재료의 사용시는 온도와 강도에 제한을 받는다.

밸브의 Fluttering(Valve Fluttering)은 밸브 요소가 밸브 스프링이 들어있는 Guard 부위까지 완전히 들어올려지지 못하여 밸브를 통과하는 가스 유량이 충분치 못할 때 생기며, 밸브 요소는 Seat와 Guard 사이에서 진동하게 된다. 이러한 현상은 스프링 마멸을 가속시키고, 밸브요소가 Seat와 Guard를 여러 번 가격하면 마멸과 피로가 심화된다. 또한 밸브가 닫힐 때는 슬래밍이 발생하기도 한다. 일반적으로 밸브 요소에 불분명한 양상, 또는 스프링에 의한 충격 흔적이 존재하거나, 밸브 요소가 회전되었던 흔적이 발견되면 Fluttering 현상이 발생되었다는 증거이다. 이러한 Fluttering 현상은 좀더 가벼운 스프링을 사용하거나 밸브 행정을 작게 하여 없앨 수 있다.

압축기 실린더 내외부로의 유동 패턴은 압축기 가스통로의 장애물이나 때로 압축기 내부의 밸브의 방향에 의해 영향을 받는다. 이러한 문제는 드물게 나타나지만 증상이 분명하지 않아 고장원인 해결을 더욱 어렵게 한다.

유동 형태와 관련된 문제는 흡입 밸브의 밸브 Unloader의 진동이며, 실린더 내부로 흐르는 가스 통풍의 영향을 받는다. 이는 가스가 유동하는 방향으로 돌출된 밸브 Unloader에 의해 발생한다. 결국 진동은 Unloader Finger를 손상시키고, 밸브요소들의 안착 불량으로 흡입 밸브에서 누설이 발생된다.

이 문제를 해결하기 위한 방법은 Unloader부에 탄성계수가 큰 스프링을 사용하거나 가스 유동방향으로 돌출된 언로더 부위를 재설계하는 것이다.

압축기의 가스통로 부위에서의 **공진과 압력 맥동(Resonance and Pressure Pulsation)**은 압축기 밸브의 개폐시간에 영향을 준다. 이것은 압축기 배관을 변경하거나 세팅 챔버(Setting Chamber), 서지 탱크(Surge Bottles), 진동댐퍼 등을 사용하여 해결할 수 있다. 서지탱크와 진동댐퍼의 활용은 그 자체가 하나의 학문이며, 본서의 범위를 넘어선 것이므로 여기에서는 다루지 않지만, 간단히 말해 이것의 용도는 밸브의 안착 불량을 일으키고, 압축기 전체에 영향을 미치는, 압축기 실린더에서의 역류에 의한 압력 맥동을 방지하는 것이다. 종종 적절한 크기의 오리피스를 압축기 배관에 설치하여 이러한 문제를 해결하기도 한다. 다음에서 공진과 압력 맥동에 관련된 배관계의 고장원인 해결 기법에 대한 효과적인 접근방법을 설명한다.

5.3 一般的인 故障 原因 解決 技法 (General Troubleshooting)

왕복동 압축기에서와 같이 석유화학 공정 기계도 초기에 증상과 원인을 확인할 수 있는 경우는 거의 없다. 미묘한 성능 변화를 무시하므로써 얼마나 큰 손상을 초래하는지를 생각하면 이것의 중요성은 분명해진다. 예를 들어 높은 출구 온도는 단지 불충분한 냉각수가 주원인이 될 수 있다. 이러한 원인에 대해 제대로 조치를 취하지 않으면 실린더의 과열을 일으켜 결국에는 피스톤의 고착(Seizure), 링 손상, 피스톤 균열과 같은 손상을 초래하게 된다. 마찬가지로 대부분 피스톤과 헤드간의 부정확한 간극에 의해 초래되는 “실린더의 노킹”과 같은 가청 증상에 대해 조치를 취하지 않으면 피스톤의 손상이나 크로스 헤드의 손상을 초래하는 로드 파손을 초래한다. 표 4-16은 증상-원인-고장간의 일련의 상세한 분석을 순위별로 정리한 것이다.

표 4-16 왕복동 압축기의 고장원인 해결 지침

증 상	소음 진동		압 력				온 도			유 량	내부 점검 결과		
	노 킹	진 동	토출 압력 상/하	중간냉각기 압력 상/하	토출 온도 상/하	냉각수 출구 온도 상/하	과열 밸브	실린더	프레임		용량 저하	카본전 비정상	피스톤 실린더 마멸 증가
벨브	LP 밸브 마멸/파손			②	①	①	③	③	②	①	④		⑤
	HP 밸브 마멸/파손				①								
	LP Unloading 계통 결함	③	①	①		②	②	④	④	⑧	②	⑤	⑦
	HP Unloading 계통 결함				②								
피스톤 / 실린더	LP 피스톤링 마멸			④	⑤					⑦	⑨	⑥	
	HP 피스톤링 마멸				③								
	피스톤로드의 너트 풀림	④											
	피스톤 헐거움	⑥											
프레임	헤드 간극이 너무 작음	②											
	베어링 간극이 너무 큼	③											
	플라이 휠일 또는 플리가 헐거움	⑦	②										
	크로스 헤드 간극이 너무 큼	③											

주의 : 위 숫자는 우선점검 순서 또는 가능 원인에 대한 순위를 나타냄.

표 4-16 (계속)

증 상	소음 진동		압 력		온 도			유 량	점 검 결 과				
	노 킹	진 동	토출	중간냉각	냉각	냉각	과열		카본	피스톤	밸브	점검	
			압력	기압력			수출	구온					실린더
예 상 원 인			상승	하강	상승	상승	밸브	지하	비정상	증가	증가		
지지 / 냉각 / 윤활	냉각수량이 너무 적음				④	①	④						
	실린더 윤활 부적합	⑨	⑥			⑦		⑥			①	①	
	프레임 윤활 부적합	①							①				
	실린더의 과도한 윤활									②		⑧	
	윤활유 선정 부적합	⑩								①	②	②	
	기초대 불량	⑧	④			⑧		⑦					
	배관지지 불량		①										
배관계	공명성 맥동(흡입 또는 토출 부위)											⑨	
	흡입 필터 오염/결함				③				③	③	⑤	⑤	
	흡입관의 장애물				④				④				
	계통의 과잉누설			③					⑤				
	과부하 운전			⑤									
조작조건	토출압 너무 높음	⑪	⑦	②		③	⑤	①	①	③	⑥		
	토출온도 너무 높음										⑦		
	중간 냉각기 오염				④	⑥	⑥				⑪		
	액체의 Carryover											③	③
	실린더내로 오염물/부식 생성물 유입											④	④
	실린더 냉각 재킷 오염					⑤	②		⑤		⑩		
	Unloading 운전시간이 김.							②					
	속도 부정확		⑤	⑥					③	②	⑥	⑧	

주의 : 위 숫자는 우선점검 순서 또는 가능 원인에 대한 순위를 나타냄.

왕복동 압축기의 고장원인 해결시 주목해야할 가장 두드러진 증상은 압력, 온도, 유량의 변화와 비정상적인 소음 등이다. 따라서 주요한 고장원인 해결 도구는 인간의

오감, 2개의 압력 게이지, 2개의 온도계 및 하나의 유량계이다. 일반적으로 유량계는 개개의 압축단에서는 사용할 수 없지만, 흡입유량에 대한 배출유량을 확인할 때, 중간 단 입구나 Knockout이 없는 곳에서는 유로의 한 단에서의 유량 측정만으로도 충분하다.

압축기의 온도와 압력은 기본적인 설계 계산 자료이며, 압축기 운전상태의 건전성 여부를 판단하는데 도움을 준다. 측정된 값과 계산값 사이의 차이(ΔT)는 매일 매일 거의 일정해야 한다. 실제 측정된 값과 계산된 온도값은 입구온도와 출구온도 증가시에 변화한다. 실린더를 통과하면서 압축율이 증가하면 압축기 출구온도 역시 증가한다. 계산 온도와 실제 출구온도의 비교를 통하여 운전 상태의 변화에 대한 판단 기준이 제공된다.

계산의 이용(Calculation Help). 왕복동 압축기의 분석 절차는 먼저 Unit가 정상 조건으로 운전될 때 각 실린더의 압력과 온도를 측정하는 것이다. 출구온도는 압축비, 흡입온도, 가스의 k값 등을 통하여 계산된다. 여기서 가스의 물리적 특성치인 k 값은 비열 비이다. 그림 4-11은 보다 일반적인 공정 가스의 k값과 필수 방정식을 나타낸다.

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

where for a single cylinder:
 T_1 = Inlet Temperature, °Rankine (°F + 460)
 T_2 = Outlet Temperature, °R
 P_2 = Outlet Pressure, psia
 P_1 = Inlet Pressure, psia

$$K = \text{Ratio of Specific Heats, } MC_p/MC_v = \frac{MC_v - 1.986}{MC_v}$$

$K = 1.4$ for a perfect diatomic gas

K-Values of Common Gases

Air, N ₂ , O ₂ , H ₂	~1.4
CO ₂	1.28
Propane	1.15
Natural Gas	Ranges from 1.1 to 1.25

그림 4-11 왕복동 압축기의 출구 온도계산

측정온도와 계산된 출구온도가 똑같은 경우는 드물다. 이것은 가스 특성의 변화뿐만 아니라 압력과 온도의 지시치에도 편차가 있기 때문이다. 그러나 압축기가 정상적으로 운전되고 있다면, 결과치는 서로 비교할만한 가치가 있어야 하고, 실제 측정온도와 계산된 출구온도간의 차는 매일 매일 거의 일정해야 한다. 온도차가 증가할 경우 압축기 밸브나 피스톤 링에 문제가 있음을 의심해 볼 수 있다

(표 4-16 참조).

Unit의 잠재적 문제점을 분석하는데 있어서 출구온도는 매우 유용한 인자이다. 고장원인 해결사는 밸브와 피스톤 링이 신품은 아닐지라도 상태가 좋다는 것이 확인되면 측정된 출구온도와 압력 기록치를 신뢰하여야 한다.

측정은 신뢰성 있는 게이지로 수행 되어야 한다. 수집된 데이터 기록치만 가지고 있으면 매일 출구온도를 계산할 필요가 없으며, 고장이 의심될 때 비교 사용할 수 있도록 Raw 데이터만 가지고 있으면 된다.

진단(Diagnostics). 왕복동 압축기 문제를 해결하는 또 다른 기법은 금속 성분 함량을 검사하는 윤활유 분석법, 진동의 측정, 베타 분석 형식의 진단법 등이 있다. 윤활유 분석에서 특히 강조되는 것은 베어링과 회전하는 기어의 금속성분을 찾아내는 것이다. 윤활유 분석에서 이들 금속성분이 증가되면 이들 부품의 마멸이 시작되었음을 나타내므로 마멸이 심각해질 때 그 위치를 예상할 수 있다.

진동 분석은 원심 압축기와 같은 회전 기기에 적용되며, 왕복동 압축기에서도 유용하게 쓰인다. 심지어 저속 왕복동 압축기의 커플링 정렬 불량도 진동 분석으로 알 수 있다. 어떤 고장원인 해결사는 계의 공진과 맥동에 의해 발생하는 배관의 피로 손상 및 파괴를 분석하는 데 진동 측정치를 이용하기도 한다. 이러한 문제중 몇몇은 배관의 공진 주파수를 가진 시키는 운전 속도의 1배, 또는 2배의 주파수에 의해서 발생된다. 보통 진동 주파수가 기계의 운전속도의 두 배 이상이 되면 음향 진동이 의심된다.

베타 분석기 지시 카드 기록치는 압축기 실린더 내부의 상황을 직접 알려준다. 이 분석 방법은 밸브 손실과 피스톤 링의 누설에 관련된 고장 해결에 매우 유용하다. 이런 분석장비는 고가이지만 계약, 또는 1회에 한해서 이 장비를 사용하여 기술 용역을 수행하는 회사들이 있다. 그러나 진단의 관점에서 볼때 1회에 한해서 취해진 값은 운전자료의 이력으로는 대응할 수 없음을 염두에 두어야 한다. 왜냐하면 문제점의 증상 중에서 가장 결정적인 것은 어떤 변화가 증가하거나 감소하는 것이기 때문이다.

이것으로 증동축 공정 기계류의 고장원인 해결 기법에 관한 설명을 마친다. 구동기에 관한 설명의 개요로서 표 4-17은 V-벨트로 구동되는 기계에 대한 고장원인 해결 지침이다. 커플링 고장 분석과 고장원인 해결은 제3장의 앞부분에서 설명하였다.

표 4-17 V 벨트 구동기의 고장원인 해결 지침

증 상					증 상						
C 반복적인 벨트파손					급속한 벨트 마멸 D						
B 베어링 과열					벨트의 균열 E						
A 벨트 이음					활차에서 벨트 벗겨짐 F						
가능 원인			#	A	B	C	D	E	F	#	가능한 조치
미 멸 과 찢 어 짐	벨트 Guard와의 러빙	1				1			1	1	* 간극 점검
	활차 직경이 너무 작음	2				3			2	2	* 활차 홈의 측면 점검
	부적합한 벨트	3				5			3	3	* 적합한 벨트로 교체
	벨트의 슬립	4	3	2		6	1		4	4	* 장력 점검
	다중벨트 구동기에서 1개만 교체한 경우	5				8			5	5	* 세트로 교체
	정렬 불량	6				10			6	6	* 재정렬
	불충분한 원호 접촉	7	2						7	7	* 중심거리를 증가시킴
	홈안의 벨트 안착 불량	8	4						8	8	* 활차 또는 벨트 교체
	작은 활차	9		4				3	9	9	* 코그(cog)벨트 사용 또는 재설계
설 계 / 설 치	반대방향으로의 굽힘	10						4	10	10	* 코그벨트 사용
	과도한 장력	11		1					11	11	* 장력 재점검
	베어링과 활차가 너무 뾰.	12		3					12	12	* 활차를 베어링 블록쪽으로 이동
	활차가 너무 작음	13		4				3	13	13	* 드라이브 재설계
	설치 불량	14			2		11	5	14	14	* 활차에서 벨트가 들어 올려지는지를 점검
	상하부 벨트의 처짐	15			3				15	15	* 한쪽에만 처짐이 유지하도록 함
	늘어남 또는 부적절한 보관	16					7		16	16	* 교체
조 작 조 건	과부하	17	1			4		2	17	17	* 구동기 재설계
	과열	18				9			18	18	* 운전조건 개선 * 코그 벨트 사용
	쇼크부하 또는 진동	19			1			3	19	19	* 밴드 벨트 사용
	홈내 이물질 존재	20			4			4	20	20	* 벨트 차폐 개선
	주위 온도 높음	21						2	21	21	* 충분한 환기 * 코그 벨트 사용
	활차 홈의 마멸	22						2	22	22	* 활차 홈의 측면 점검
	인장 코드 파손	23							1	23	23
가능한 원인	#	A	B	C	D	E	F	#	가능한 조치		

주의: 숫자는 우선 점검 순위 또는 가능 원인의 순서를 나타낸다.

6. 엔진의 故障 原因 解決 技法 (Troubleshooting Engines)

2 또는 4 사이클 대형 가스터빈 압축기 및 디젤엔진과 같은 내연기관도 석유화학 공정 기계 영역에 속한다. 이러한 것들은 20개의 실린더 엔진의 정미 평균 유효압력은 250 psi에 달하며, 출력은 16,000 마력(BCP) 정도에 이른다. 이들 기계는 극히 주의하여 설치하고 매우 철저하게 유지 정비하여야 하는 고성능 기계들이다. 일체형 가스 엔진 압축기의 일반적인 역할은 정제가스를 연료로 사용하여 수소가스를 압축하는 것이다. 또 다른 일반적인 용도로는 냉각 타워 펌프와 비상 발전기 구동장치로 이용되는 디젤엔진이 있다.

1971 ~ 1974년 중에 Hartford 증기 보일러 검사 및 보증회사에서 표 4-18과 같은 고장 통계를 발간했다. 대상 장비는 불꽃점화 가스 및 가솔린 엔진, 왕복식 압축기를 구동하는 내연기관, 디젤과 2중 연료 엔진을 포함한 180개의 엔진이다. 표 4-19는 손상의 원인과 초기에 손상되는 부품을 나타낸 것이다.

앞에서도 언급했듯이 다른 왕복동 기계와 같이 내연기관은 모니터링과 온라인 진단에도 잘 응답한다. 왕복동 압축기와 같이 내연기관의 대형 손상은 초기에 손상 발생을 알아내지 못하고 조치가 취해지지 않아 발생된다. 수많은 엔진 손상과 정비비용을 증가시키는 베어링의 손상을 생각해 보자. 베어링 손상은 윤활 결핍으로 발생되어 결국 크랭크샤프트 손상으로 이어지는 증상과 원인의 중간과정이다 (제3장 참조). 따라서 베어링 마멸과 손상 징후에 주의를 기울이게 되면 크랭크샤프트 손상 원인의 대부분을 제거할 수 있다.

엔진 베어링 마멸과 손상이 크랭크 축정렬 상태와 직접 관련이 있지만 많은 다른 인자들도 베어링의 마멸과 손상의 원인이 된다. 표 4-20은 엔진 고장원인 해결도이고 손상에 대한 증상과 베어링 마멸의 원인을 나타낸다.

표 4-18 대형 내연기관의 고장 분포와 손상 형태별 비용 분포

파손 형태	(%)	총 \$값 분포(%)
파손/균열	48.3	46.7
균열	26.1	19.4
변형	1.1	0.4
Scoring	5.6	8.2
기타	18.9	25.3
총계	100.0	100.0

표 4-19 대형 내연기관 고장 분포와 원인별 수리비용 및 초기에 손상된 부품의 분포

고장 원인	사건(%)	총 \$값 분포(%)
원인 불명	28.9	17.2
윤활문제	12.8	17.1
냉각문제(상실, 부족, 부적절)	10.6	6.1
피로	10.0	5.2
과열(과부하에 의한 것은 제외)	5.6	3.5
재료의 결함	5.6	3.5
정렬불량	2.2	13.9
과속	2.2	8.4
실린더내 액체의 축적	2.2	2.4
균열의 진행	2.2	1.1
그외 분류되지 않은 것	2.2	1.0
진동	1.7	6.3
정비 불량	1.7	1.3
금속학적 특성의 변화	1.7	0.6
마멸(경년 또는 운전)	1.7	0.4
수리 불량	1.1	1.4
잠금장치의 헐거움	1.1	0.6
수리공의 기량 부족	1.1	0.6
동결	1.1	0.1
기타	<u>4.3</u>	<u>9.3</u>
	100.0	100.0
초기 손상 부품		
베어링	24.4	33.5
피스톤, 피스톤 링	19.4	17.3
실린더, 헤드, 블럭, 라이너	16.7	8.3
크랭크 축	6.1	24.2
밸브	5.6	3.2
로드, 커넥팅 로드, 피스톤	4.4	3.3
다기관(Manifold)	4.4	2.2
윤활유 계통	2.2	0.8
기어	2.2	0.6
캠축	1.7	0.6
프레임, 구조물	1.7	0.4
커플링	1.7	0.2
터보 과급기 Rotor	1.1	1.1
제어, 압력, 온도	1.1	0.3
기타	<u>7.3</u>	<u>4.1</u>
	100.0	100.0

표 4-20 (계속)

		증 상																									
		모니터링/조사 결과										내부 점검 결과															
		햄머링 / 노킹	조기점화	이상폭발	점화안됨	과열	배기그음음형성	밸브누설	포트막힘 (*)	피스톤누설	베어링마멸	오일소비증가	오일수명단축	필터수명단축	유지비증가	동력감소	광택 / 슬러지	회침전물	카본침전물	점화플러그오염	피스톤링고착	실린더/라이너마멸	밸브고장	베어링고장	피스톤고착	실린더헤드균열	터보과급기고장
예상원인	실린더온도 낮음																10										
냉각	부적절한 냉각	5	4		2	2	1	4	6		4	3	9						6	10	1			2	1		
	냉각수 온도 너무 낮음											7	11														
계통	윤활유 계통으로 누설								14		6					5							14				
	오일 품질 불량						6	6	5		5	1	1	1		2	9		10	5		6	15				
윤활	오일 점성					13				13											14		13				
	오일 여과 불량						7		2	8	16	8	2		8				2	16	7	8					
계통	과운할	7	6				1	1		2		6	3			1	1	1	1								
	윤활부족						4		12											18	4	12					
통	주유기 고장				1		5				2																3
	오일 배유 시간 간격이 너무 큼							4				7			1				4								
그외	오염										10	3			6												
	오일온도 너무 낮음										8				4												
그외	재질 불량								10														10				
	크랭크축 정렬/베어링 조립 불량								1														1				
그외	부품 헐거움	1																									
	과부하				10		2		7			12	5								13		7				

(*) 2사이클 엔진

《1》 부적절한 크랭크축 정렬과 베어링 조립. 몇 가지 조치사항은 :

- a. 베어링 간극과 정렬을 점검하고 조정하라.
- b. 정렬불량 문제의 조기 발견을 위해 크랭크축 Web의 변형을 주기적으로 기록하라.
- c. 엔진 Base와 Grout간의 움직임이 없는지 기초대를 점검하라.
- d. 느슨해진 Grout를 가능한 빨리 수정하고 내유성 Polymeric Grout를 사용하라.
- e. 기초 볼트 토오크 값이 적절한지 확인하라.

《2~7》 《9》 《11》연료의 질: 과부하/불안정, 원인과 관련된 거친 운전

《8》 부적절한 오일 여과. 적절한 조치사항은 :

- a. 희석과 산화여부 점검을 위해 주기적으로 크랭크 케이스 오일을 실험실 분석을 수행하라.

예를 들면, 디젤엔진의 윤활유 희석은 다음과 같은 원인으로 발생한다.

- 연료주입 펌프와 분사 노즐 사이에서 누설하는 고압 튜브 부품
 - 캠축 흡통 배수구의 막힘
 - 연료 주입 펌프 Pushrod 부상의 마멸
 - 연료 주입기의 Pushrod의 헐거워짐
 - 주입 펌프와 연료 리턴 배관 부품의 부적절한 조임
- b. 복식 오일 스트레이너의 청소 및 교체 절차를 재검토하라.

《10》 야금 불량. 3장을 참조하라.

《12》 윤활 부족. 조치사항은 :

- a. 오일 펌프 구동 장치의 점검.
- b. 오일 공급압력의 감시.

《13》 오일 점성 부적절. 조치는 :

- a. 제작사의 권고사항 재검토
- b. 주기적인 실험실 분석.

《14》 윤활유내로 냉각수 누설. 조치는 8a와 같다.

7. 蒸氣 터빈의 故障 原因 解決 技法 (Troubleshooting Steam Turbines)

고장 통계. 석유화학 산업에 사용되는 증기터빈은 예비펌프를 구동하는 10마력 이하의 소용량에서부터 대용량 가스압축기를 구동하는 60,000마력 이상이 있다. 표 4-21은 대표적인 고장에 대한 통계와 주요 고장 원인, 그리고 손상된 부품을 나타낸다.

표 4-21 증기터빈의 손상 사고 및 부품의 분포

고장 원인	분포(%)	부 품	분포(%)
• 제작상 문제	64.1	Rotor Blade	29.0
계획, 설계, 계산	16.5	베어링	16.7
		레디얼 베어링(12.5)	
		스러스트 베어링(4.2)	
조립	16.0		
기술	10.6	Shaft Seal, 발란스 피스톤	15.6
제작	8.7	Disc가 있는 Rotor	10.3
재질	8.0	Base Plate, Screw가 있는 케이싱	9.8
수리	4.3	스트레이너, 각종 부품	4.0
• 운전상 문제	15.3	제어	4.0
감독	10.6	가이드 블레이드와 다이어프램	3.4
정비	4.7	기어, 트랜스미션	2.4
• 외부 영향	20.6	배관	0.8
이물질	7.2	기타 부품	4.0
전기적 Grid	4.1		
기타	9.3		
	100		100

또한 표 4-22는 고장 형태별 분포를 보여주고 있다. 축방향과 원주방향 접촉에 의한 Rubbing은 다음과 같은 원인에 의해 발생된다.

- (1) 로터와 케이싱의 열변형
- (2) 내·외부의 정렬 상태의 변화
- (3) 불평형
- (4) 추력 또는 레디얼 베어링의 손상
- (5) 열로 인한 치수변경을 발생시키는 설계 조건을 벗어난 운전

Rotor Blade의 손상원인은 다음과 같다.

- (1) 동적 과부하
- (2) Blade Seating의 헐거움
- (3) Seating 설계 결함

베어링 손상은 3장에서 이미 논의되었고 열응력에 의한 균열은 고온 영역의 주강 부품이나 두께가 변화되는 곳에서 주로 발생한다. 터빈 로터의 열응력에 의한 균열은 드물게 나타난다. 열응력 균열로 영향을 받는 부품은 Trip 및 Throttle 밸브 케이싱, Steam Chest, 고압 케이싱의 Wheel Chamber를 들 수 있다.

표 4-22 증기터빈 고장 형태 분포

고장 형태	경우(%)
러빙	23.0
피로와 크립 파손	18.5
베어링 손상	14.6
열응력 균열	11.7
갑작스런 고장	9.3
초기 균열	8.0
기계적인 표면손상	5.4
부식과 침식	3.3
축 굽힘	2.4
마멸	2.3
연마	1.5
	100

표 4-23은 일반적인 증기터빈 구동기의 고장원인 해결 지침을 나타낸다. 표 4-24는 Woodward Governor사에서 제작한 TG-10 조속기인 유압 조속기 사용에 관한 고장원인 해결 지침이다. 그림 4-12는 대용량 증기터빈의 조속기 계통 고장에 관한 계단식 진단 지침이다.

표 4-23 증기터빈의 고장원인 해결 지침

증 상											증 상										
D 부하 감소에 따른 속도 상승						조속기 동작 불능/과도한 속도변화						E									
C 동력 부족						부하변화중의 O.S.T.†						F									
B 기동지연						정상 속도에서의 O.S.T.						G									
A 터빈 기동 실패						그랜드(Glands) 누설						H									
가능 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	가능 조치									
케이싱 / 로터계통	닫긴 핸드 밸브가 너무 많다	1			2		9	5			1	* 핸드 밸브의 오픈									
	노즐 부식 또는 막힘	2		6	7						2	* 노즐 배관플러그와 핸드밸브 취외 후. 노즐 구멍 점검. 필요시 청소.									
	카본링 오염	3								1	3	* 카본링 아래로 누출되는 증기는 링을 오염시키는 이물질을 이동시키기도 한다. 제거, 점검 및 교체									
	카본링 마멸 및 파손	4								2	4	* 새 링으로 교체									
트립 밸브와 스토틀 밸브	축의 Scoring	5								3	5	* 카본링아래의 축 표면은 누출방지를 위해 매끄러워야 한다. 적절한 운전 절차 준수.									
	플러깅된 배관에서의 누설	6								4	6	* 응축수 배수 확인.									
	스토틀 밸브 작동 불량	7		1	1	1	3	2			7	* Stop밸브 닫고 스토틀 연결 해체. 밸브레버는 개폐가 자유로워야 한다.									
	스토틀 부품 마찰	8		4		2	3	3			8	* 스토틀밸브 해체후 부품 작동상태 점검 * 밸브 스템 직진도 및 이물질 유입 여부 점검									
	밸브 패킹 마찰	9				3	4	4			9	* 밸브 패킹의 과도압축 여부 점검 * 밸브 스템상의 돌출물이 있는 부위에서 압축을 받으면 교체.									
	스토틀밸브의 헐거움	10					5				10	* 일부 밸브 부품의 Floating은 위험한 결과 초래함. 필요시 밸브와 Stem을 수리하거나 교체									
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	가능한 조치									

† Overspeed Trip

표 4-23 (계속)

증 상										증 상																			
D 부하 감소에 따른 속도상승										조속기 동작 불능/과도한 속도변화 E																			
C 동력 부족										부하변화중의 O.S.T.† F																			
B 기동지연										정상 속도에서의 O.S.T. G																			
A 터빈 기동실패										그랜드(Gland) 누설 H																			
가능한 원인										#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	가능한 조치									
트 립 밸 브 와 스 로 틀 밸 브	스로틀 밸브와 Seat 마멸	11				4	5							11	* 밸브 부품 분해후 밸브와 Seat면의 마멸과 스팀 커팅 여부 점검														
	운전속도와 너무 가깝게 설정된 트립 밸브 Setting	12							1	3				12	* 적절한 Trip속도 설정을 위해 조작 지침서 참조														
	트립 밸브 개도 불량	13	3		6									13	* 트립밸브 레버 상태 확인														
	트립밸브 오염	14								2				14	* 점검 및 청소														
	스팀 스트레이너 막힘	15	2	2	8									15	* 점검 및 청소														
	유압식 조속기 설정치 낮음	16			3									16	* 속도 및 속도범위 조정 지침서 참조.														
	조속기 Droop 조정 필요	17					1							17	* Droop 증가는 변동이나 헌팅 감소시킴														
	기동시 조속기 제어가 안됨	18		5			8							18	* 회전방향 점검 * 조속기 속도범위 점검 * 조속기 Troubleshooting 지침 참조														
	조속기 윤활 불량	19					2							19	* 낮은 조속기 오일 레벨, 오염인자, 오염, 거품 오일 등은 취약한 조속기 응답 유발. * 배유 및 세정후 적정 사양의 오일로 충유														
	입구증기압이 낮거나 배기압이 높음	20	1	4	5									20	* 터빈 입구증기압과 배기 플랜지 근방의 배기압 점검을 위해 정밀 게이지를 사용하라. * 입구압력이 낮은 것은 보조 조절장비가 너무 작거나, 배관규격 불량 등이 원인이 된다.														
	경부하 및 입구 증기압 높음	21					6	6						21	* 용량이 남아있고, 증기압이 높을 때 속도 변동이 크다. * 핸드밸브를 열거나 더 작은 스로틀 밸브를 설치하라.														
	터빈 정격 부하 초과	22		3	4									22	* 중동 장비(발전기등)의 요구부하를 확인하라.														
	급격한 부하 변화	23					7							23	* 급격한 부하변화는 조속기 진동을 유발한다.														
	중동장비의 기동토포크가 높음	24												24	* 기동 토포크 점검														
	과도한 진동	25									1			25	* 진동 진단지침을 참조.														
가능한 원인										#	A	B	C	D	E	F	G	H	#	가능한 조치									

주의: 베어링의 수명단축과 진동 등의 원인은 베어링 손상 분석과 진동진단법에 관한 부분을 참조하라.

† Overspeed Trip

표 4-24 TG-10 조속기의 고장원인 해결 지침

증상					증상									
C 조속기 불안정/진동					정격속도를 얻을 수 없는 엔진/터빈 D									
B 조속기 출력 불안정					조속기 기동/제어 안됨 E									
A 엔진/터빈의 헌팅 및 서지					조속기가 최고치로 유지 F									
예상원인				#	A	B	C	D	E	F	#	예상조치		
조속기 조정	속도 설정치 너무 낮음				1				1			1	* 조속기 속도 설정치 증가.	
	속도 설정치 너무 높음				2						1	2	* 조속기가 요구 속도로 제어 및 조정 될때까지 속도 설정치를 감소	
	Droop 조정 불량				3	4						3	* Droop 조정 레버 위치 조정.	
	너무 큰 Droop				4			2				4	* Droop 조정 레버 위치 조정.	
	조속기 속도 범위 부적절				5					3		5	* 조속기의 속도범위 점검	
설 계 / 설 치 / 정 비	조속기 회전방향 잘못됨				6					1		6	* 조속기 구동장치 점검. * 잘못된 회전에 대한 펌프 부품 재설치	
	Flyweight Pin 마멸				7		2					7	* 원활한 동작을 위해 Flyweight와 핀 점검 * 한쪽 결합이 발생하면 양쪽 부품 교체	
	펌프 구동 핀 파손				8					3		8	* 핀 점검을 위해 펌프 하우징을 해체하고 필요시 교체.	
	조속기 오일내 오염				9	2		4				9	* 배유 및 Flushing후 적절한 사양의 오일로 다시 채움.	
	오일 레벨이 낮음				10	1						10	* 오일 레벨 점검 및 충유.	
	조속기 커플링의 정렬 불량				11		1					11	* 점검후 재정렬	
	구동키의 탈락과 또는 설치 불량				12						2	12	* 설치 점검	
	출력축 연결부의 구속				13	3						13	* 필요한 만큼 연결부 재정렬	
	출력축 회전량 부적절				14			1		2		14	* 연결부 점검. 무부하에서 전부하까지 회전량 점검	
	증기밸브의 Gain이 큼				15			3				15	* 증기밸브의 용량 과다 확인	
가능한 원인				#	A	B	C	D	E	F	#	가능한 조치		

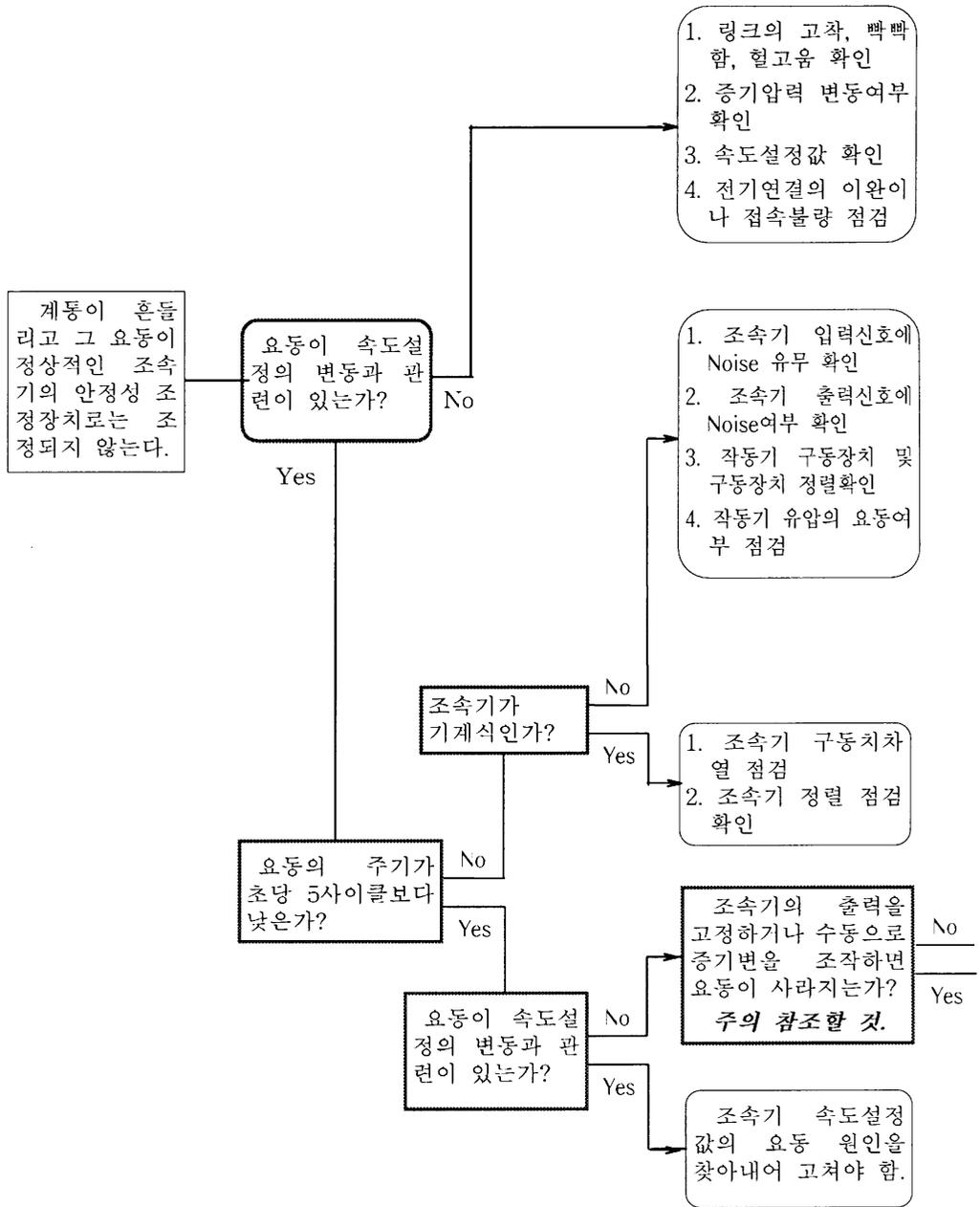


그림 4-12 증기터빈 조속기의 고장원인 해결 지침

주의 :
증기변을 수동조작하거나, 전기식조속기에 외부전압을 가하면서 조속기의 출력을 제약하고 있을 때 이 계통은 조속기에 의해 제어되지 않으므로 과속도가 일어나지 않도록 극단적으로 주의해야 한다.

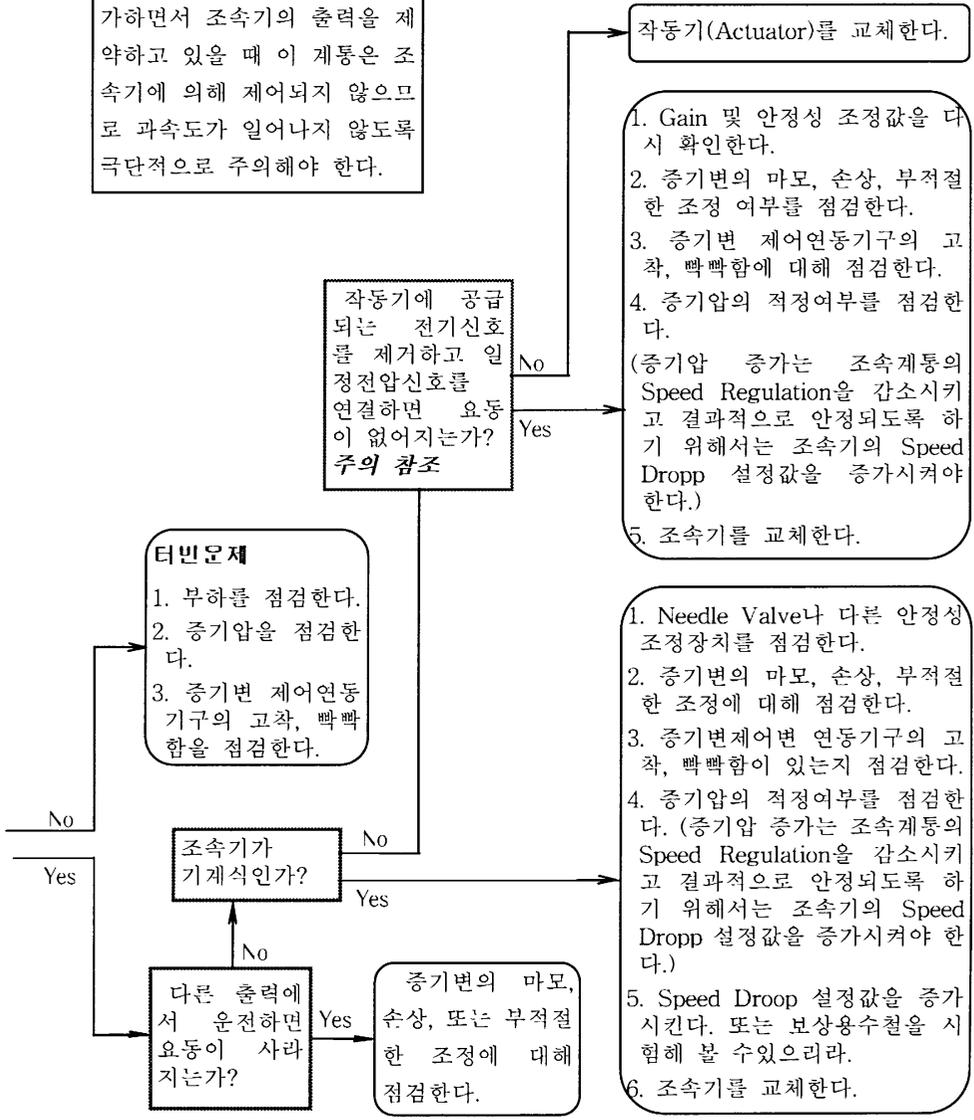


그림 4-12 계속

8. 가스터빈의 故障原因 解決 技法 (Troubleshooting Gas Turbines)

가스터빈은 석유화학 공장에서 증기터빈처럼 많이 사용되지는 않지만 정련과 화학 설비운전을 위해 적합한 기능을 가지고 있다. 가스터빈은 저급 연료를 포함한 다양한 연료 및 악조건의 주변환경에서도 운전할 수 있으나 증기터빈보다 손상빈도가 높다. 그림 4-13은 1970~1979까지의 산업용 가스터빈의 주 손상원인 분포를 나타낸다. 그림 4-14는 동일부류의 기계부품 손상 분포를 나타낸다.

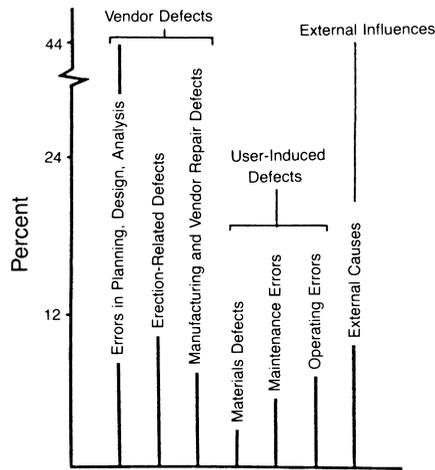


그림 4-13 산업용 가스터빈의 주 손상의 원인분포 (1970~1979)

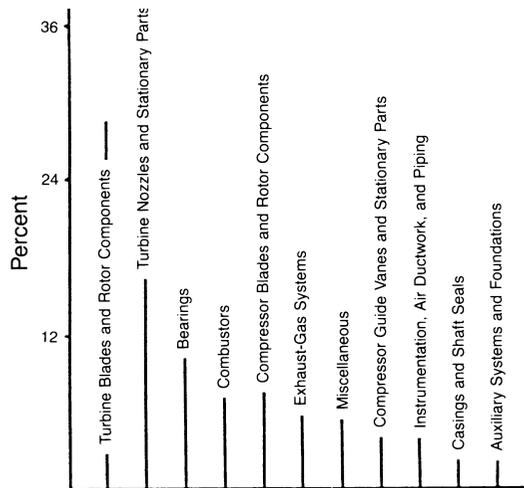


그림 4-14 가스터빈 부품의 손상분포 (1970~1979)

일반적으로 가스터빈은 압축기, 연소기, 터빈의 3가지 기본 계통으로 구성된다. 효과적인 고장원인 해결을 위해서는 이러한 시스템과 상호작용에 관한 충분한 이해가 필요하다. 가스터빈의 고장이나 손상 형태는 효과적인 고장진단을 위해 반드시 이해되어야 한다 :

(1) 공기 흡입 계통과 여과 장치

a. 연소용 공기 문제

- ① 압축기 오염 ② 압축기 침식 ③ 냉각공기 장애
- ④ 로터 불평형 ⑤ 터빈 Blade Root의 Locking ⑥ 고온 부식이나 황화

(2) 연료 계통과 연료 처리

- a. 기동과 정화 실패 b. 수화물 형성과 동결에 의한 Trip
- c. 액화 탄화수소의 캐리오버 d. 연소기 오염

(3) Rotor 계통

- a. 고온가스 통로에서의 Rubbing b. 베어링과 Seal 손상

(4) 터빈과 배기

- a. 조속기 기능부전 b. 진동 문제

(5) 제어 계통

- a. 계기용 공기 문제 b. 전기 회로의 단선
- c. 흡입 공기의 결빙 감시 및 결빙 방지 시스템 손상

(6) 윤활유계통

- a. 필터 문제 b. 누설 c. 압력 제어 문제

(7) 커플링과 부하 계통

- a. 정렬 불량 b. 커플링 문제 c. 기어박스과 부수적인 문제

(8) 환경

- a. 출력 b. 연료 공급 c. 운전원의 인적 실수 d. 부하 수요 변화

끝으로, 표 4-25는 가스터빈에 대한 효과적인 고장원인 해결 지침을 나타낸 것이다.

표 4-25 가스터빈의 고장원인 해결 지침

예상 원인		증 상																
		연소소음	진동	압력/압력 비					온도/온도 비					질량유량	효율			
				베어링 오일압력	냉각 공기압력	블리드 챔버압력	연료압력	P2 / P1	P3 / P4	베어링 온도	휠스페이스 온도	배기 온도	배기 온도 변화		T2/T1	T3/T4	압축 효율	열 효율
압축기	블레이드 손상	②		②		③							②	③	③			
	베어링 손상	①	①					①										
	필터 막힘					②								②				
	서징	③	①		①			②						④	②			
	오염	③				①						①	①	①	①			
연소기	X-over Tube 손상					③or ③						③						
	라이너 균열/헐거움	③				④or ④						④						
	오염	①				②or ②					①	①						
	막힘	②				①					①	②						
터빈	블레이드 손상	②											②		②			
	노즐 변형	④						①	③				③		③			
	베어링 손상	①	①					①										
	냉각공기 계통 막힘				①				②	①								
	오염	③								②			①		①			

9. 電動機의 故障 原因 解決 技法

(Troubleshooting Electrical Motors)

전동기는 석유화학 공정에서 주로 사용되는 원동기이다. 일반적으로 2, 4극으로 설계된 유도 전동기는 소동력에서부터 Air Blower를 구동하는 20,000마력(BHP) 이상의 것들도 있다. 전동기의 고장은 로터나 베어링과 같은 기계적 문제와 권선과 공급 시스템과 같은 전기적 문제의 2가지 형태로 구분할 수 있다. 그렇지만, 권선 손상과 같은 전기문제의 90% 이상이 앞서 발생한 기계적 문제를 재유발 시킬 가능성이 있다. 일반적인 기계적 손상 형태는 과하중, 플러딩(Flooding), 냉각공기 장애, 단상 부하, 베어링 손상 등이다. 이러한 손상은 정비 불량이나 전동기 자체의 외적 원인에 의해 발생한다. 예를 들어, 대부분의 단상 부하에 의한 손상은 이러한 위험한 상태가 발생되지 않도록 하는 설치되어 있는 보호 장치의 정비부족 때문에 발생된다.

원심형 공정 압축기를 구동하는 3500 HP, 4극, 환기배관, Squirrel-Cage의 전동기를 고려해 보자. 이 전동기의 권선에 불이 붙었다. 불은 곧 소화되었고 전동기는 취외되어 수리점으로 옮겨졌으며 다음과 같은 손상진단이 내려졌다. :

(1) 조사 결과:

- a. 전동기의 불은 권선이 고정자의 슬롯에서 나오는 부분에서 권선 손상으로 발생했다.
- b. 권선에 화재를 유발시킨 것은 오일에 스며든 먼지, 코크와 섬유물질의 축적물이었다.
- c. 고정자 슬롯내의 권선 일부가 경미한 마찰로 절연 에나멜이 벗겨짐으로써 과열이 확산된 것으로 보인다. 에나멜이 상대적으로 온전한 것으로 보아 내부 과열인 것으로 결론지을 수 있다.

(2) 발생 가능한 원인 규명:

- a. 빈번한 기동, 즉 설계치 보다 더 자주 기동하거나 과전류가 흐를때 권선 소손이 발생할 수 있다.
- b. 과부하 상태에서 운전 : 과부하 운전을 방지하기 위해 정확한 보호 계전기가 사용되고 압축기가 설계 범위내에서 운전되므로 여기서는 의미가 없다.
- c. 부적절한 냉각공기 : 오염된 필터, Fan 손상, Fan 구동이 없는 기계 운전 등이다.
- d. 필터 시스템과 전동기 권선의 부적절한 예방정비로 권선이 오염되었을때 냉각공기로는 정상적으로 발생하는 열을 분산시킬 수 없기 때문이다.

(3) 결론 :

- a. 이러한 기계 손상은 2a, 2c, 2d가 복합적으로 작용하여 발생한다.

b. 조치:

- ① 모든 대용량 전동기는 최소한 5년간 예방정비가 되지 않는다. 서비스 조건이 보증된 경우에는 이 기간이 더 길어진다. 기계부서에서 이러한 작업을 계획하는 책임을 지고 있다.
- ② 필터와 Fan 운전을 자세히 감시하고 어떠한 손상이라도 우선적으로 수리하여야 한다.
- ③ 운전 지침서에 규정한 기동 제한조건은 엄격히 준수되어야 한다. 설계에 따라 다르지만 정상 운전온도를 유지하기 위해서, 연속 기동시에는 충분한 시간적 여유를 두어야 한다.

적절한 예지점검 정비를 통하여 이러한 손상은 방지될 수 있다. 표 4-26은 전동기의 일반적인 고장원인 해결 지침을 나타낸다.

표 4-26 전동기의 고장원인 해결 지침

증 상								증 상								
F 동기 전동기의 정격속도에 도달하지 않음								G								
E 동기 전동기의 탈조								과 열 H								
D 급격한 노킹 소음								슬리브 베어링의 고온 I								
C 과도 소음								구름 베어링의 고온 J								
B 역회전								일반 베어링의 고온 K								
A 기동 불량								진동 L								
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	#	가능한 조치
전 기 계 통	선로 고장, 과부하 트립, 접속부 이완	1	•					•							1	동력 공급 점검
	역상	2		•											2	전동기의 2선 연결부 교환
	개방회로, 단락회로, 접지	3	•					•							3	개방회로와 접지 점검
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	#	가능한 조치

표 4-26 (계속)

증 상							증 상									
F 동기 전동기의 정격속도에 도달하지 않음							G									
E 동기 전동기의 탈조							과 열 H									
D 급격한 노킹 소음							슬리브 베어링의 고온 I									
C 과도 소음							구름 베어링의 고온 J									
B 역회전							일반 베어링의 고온 K									
A 기동 불량							진 동 L									
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	#	가능한 조치
전 기 통	단상화 (3상 기계)	4			•										4	정지후 재기동. 전동기는 기동되지 않을 것임
	상간불평형 부하	5			•					•					5	3개의 인출선에서 단상 여부 점검
	저전압/부적절한 선간 전압	6	•							•					6	와이어 크기와 전동기 명판 점검
	고정자 권선 단락	7	•							•					7	절연저항 점검
	고정자 권선 지락	8	•							•					8	접지 점검
	계자기 여자됨	9													9	계자 제어장치 점검
	계자기 여자 상실	10					•								10	계자 접촉장치와 연결부
기 계 통	에어 갭 불균일	11			•										11	로터를 중심에 위치하도록 조정. 필요시 베어링 교체
	Rotor 불평형	12			•								•	12	기계적 전기적 평형 점검	
	에어 갭내의 이물질	13								•				13	전동기 청소	
	축상의 헐거운 부품 또는 회전자	14			•								•	14	수리	
	고정자와 회전자간의 Rubbing (휨축)	15			•					•	•			15	축의 편심 점검/로터 중심/베어링 교체	
	공기배출이 안됨	16								•				16	전동기의 오염인자 점검	
	전동기의 기울어짐 (Shaft Bumping)	17			•	•					•			17	설치위치 점검과 필요시 재정렬	
	정렬불량/과도한 축추력	18				•					•	•		18	재정렬	
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	#	가능한 조치

표 4-26 (계속)

증상								증상								
F 동기 전동기의 정격속도에 도달하지 않음								G								
E 동기 전동기의 탈조								과 열 H								
D 급격한 노킹 소음								슬리브 베어링의 고온 I								
C 과도 소음								구름 베어링의 고온 J								
B 역회전								일반 베어링의 고온 K								
A 기동 불량								진 동 L								
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	#	가능한 조치
기계통	고착	19	•							•					19	전동기를 분리하고 동기 단독시험
	과부하	20	•				•	•		•					20	부하 감소 또는 대용량 동기 설치
	커플링 헐거움	21			•										21	정렬 및 커플링 조임상태 점검
베어링	기초나 Base Plate와 동기의 고정 불량	22			•		•								22	고정 볼트와 Grout 점검
	볼 베어링의 소음	23			•										23	윤활점검과 베어링 교체
	볼 베어링 설치불량	24			•						•	•			24	교체
	볼 베어링의 마멸 손상	25			•						•	•			25	교체
윤활	오일 부족	26					•			•	•	•			26	적정량의 오일 추가
	저등급의 오일	27								•	•	•			27	추천 윤활제 사용
	오일의 오염	28								•	•	•			28	오일 배유후 재윤활
	오일 링 회전 안됨	29								•		•			29	오일의 고점도 및 흡집 점검
	그리스(Grease) 과잉	30										•	•		30	과잉 그리스 제거
	그리스 부족	31										•	•		31	적정량의 그리스 추가
	저등급의 그리스	32										•	•		32	추천 그리스 사용
	그리스 오염	33										•	•		33	재윤활하고 공급된 그리스의 청결상태를 확인
가능한 원인		#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	#	가능한 조치

10. 工程의 故障 原因 解決 技法 (Troubleshooting the Process)

가끔, 전 공정중 기계의 비중이 큰 경우 문제해결을 위해 전문가가 초빙되기도 한다. 서로 다른 형태의 구동장치를 가지는 압축기를 사용하는 냉동 시스템이 좋은 예이다. 그림 4-15는 이러한 시스템의 간략도이고 표 4-27은 적절한 고장원인 해결 지침을 나타낸다.

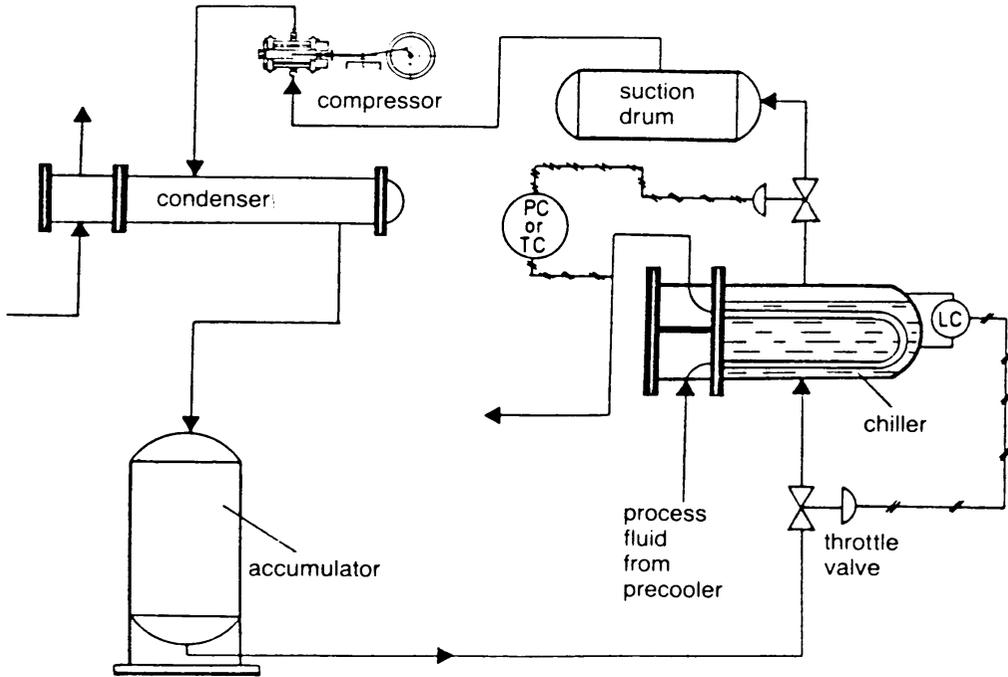


그림 4-15 간단한 공정 냉동 시스템

표 4-27 냉동 시스템의 고장원인 해결 지침

증 상					증 상						
C 흡입압력 낮음					D 흡입압력 높음						
B 토출압력 높음					E 냉각기의 공정(Process)측 온도가 매우 높음						
A 토출압력 낮음											
가능 원인			#	A	B	C	D	E	#	가능한 조치	
압축기 와 구동기	터빈 구동장치 문제(HP)		1	1			4	1	*	증기터빈 TSG 참조	
	원심 압축기 문제(과부하)		2	1			4	2	*	원심 압축기 TSG 참조	
	왕복동 압축기 문제(밸브)		3	1			4	3	*	왕복식압축기 TSG 참조	
	속도제한 압축기의 구성 불량		4	2		3	5	4	*	구성 조정	
	HP제한 압축기의 구성 불량		5	2				5	*	구성 조정	
EV† 냉매	구성 불량		6	2	3	4		4	6	*	구성 변경
	냉매 저장		7	3				10	7	*	누설부 수리
	어큐물레이터 레벨 불량		8	4	4	6		9	8	*	조정
	스로틀 밸브 막힘		9					8	9	*	배관 변경이나 수리
냉각기	스로틀 밸브 조정 불량		10	5	5	5	1	7	10	*	과열 설정치 조정
	냉각기 내의 유체 부족		11			1			11	*	냉각기 과열 점검 * 이물질 점검 등
	냉매 수위 낮음		12				2	6	12	*	LIC 점검
	냉매 공급 부족		13				3	5	13	*	냉매 유동중 이물질 점검
	냉매측의 순환비 부족		14			2		2	14	*	원인 조사
	오일 누적		15					3	15	*	저온 용매로 세척
콘덴서	공정(Process)측의 오염		16				1	16	*	청소	
	물의 오염		17		6				17	*	냉각수 속도 점검 * 역플러싱
	증기의 누설		18	6					18	*	누설처 확인 및 재충전 * 콘덴서 코일의 장애물 점검
	공기냉각 콘덴서의 유량 부족 및 오염		19		1				19	*	Fan 운전결함 점검 * 외기 온도가 너무 높음
	콘덴서의 부적절한 냉각제 배수		20		2				20	*	장애물 점검
냉각제의 과냉		21	7					21	*	냉각수 온도 점검	
가능한 원인			#	A	B	C	D	E	F	#	가능한 조치

* EV†= Throttle/Expansion Value

보통, 냉동 시스템에서 다음과 같은 문제가 발생하기도 한다.

(1) 압축기 문제 :

a. 원심 압축기 : 표 4-14의 고장원인 해결 지침을 참조하라.

b. 왕복동 압축기 :

① 클리어런스 포켓(Clearance Pocket)의 개방 또는 결함

② 밸브누설

③ 표 4-16의 고장원인 해결 지침을 참조하라

c. 증기터빈 구동 장치:

① 높은 배기-증기압

② 조속기의 완전개방 불능

③ 터빈 핸드 밸브 개방 불능

④ 터빈 Wheel의 오염

⑤ 과속도 트립 설정치 낮음

⑥ 표 4-23의 고장원인 해결 지침을 참조

d. 전동기 구동기 :

① 전동기 과열

② 전류 트립 설정치 낮음

③ 표 4-26의 고장원인 해결 지침을 참조하라.

(2) 냉각제나 부품내 불순물

a. 성애와 수화물 형성

b. 속도 제한 압축기의 순환 부족

c. 압축기 최소 흡입압력 저해

(3) 스로틀 밸브와 완충기의 기능 불량 :

a. 스로틀 밸브가 너무 열림.

b. 스로틀 밸브가 너무 닫힘.

c. 어큐뮬레이터(Accumulator)의 레벨 부적절

(4) 냉각기 :

a. 냉매 레벨이 낮음

b. 부적절한 냉매 공급

c. 냉매의 순환력 부족

d. 냉동실 오염

e. 냉각쪽의 밀봉유 누적

(5) 콘덴서 :

a. 저유속에 의한 오염

- b. 공기 냉각식 응축기를 통과하는 공기량 부족
- c. 에어 핀 코일을 통한 뜨거운 공기의 재순환
- d. 콘덴서의 냉각제 배수 불량
- e. 냉매 과냉

위 사항은 매트릭스형 고장원인 해결의 토의 결과이다.