

# 기계의 한계수명과 예방정비

부산수산대학교 공과대학

부 교수 양 보 석

## 1. 머리말

최근 과학기술의 발달에 따라 각종 기계설비의 운전조건이 고속, 고정밀화하게 되고 있다. 따라서 기계설비의 원활한 운전을 유지하며 예기치 않은 고장이나 파손에 의한 생산중단으로 막대한 경제적 손실이나 인명피해를 줄이기 위해 파국적인 고장에 앞서 고장을 예지하고 그 발생을 막거나 또는 열화, 고장이 소규모일 때에 검출, 진단하고 짧은 시간으로 설비를 복구하는 것이 가능한 감시(monitoring)기술, 고장예지, 고장진단기술개발의 중요성이 인식되고 있다.

본고에서는 기계시스템을 관리하는 기계설비의 정비방식, 한계수명 등에 대한 기초적인 내용과 실제 기계설비의 진단예를 설명한다.

## 2. 기계설비의 정비방식

기계시스템의 정비방식은 크게 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 1) 사후정비(Break-down Maintenance)
- 2) 예방정비(Preventive Maintenance)
- 3) 예견정비(Predictive Maintenance)

### 2.1 사후정비

사후정비는 기계에 고장이 발생할 때까지 정지시키지 않고 사용하다가 고장이 발생되면 보수를 하는 방법으로 기계를 정지하지 않고 계속 운전함으로써 상대적으로 작은 기계부품의 파손에 그쳐도 될 기계설비를 계속 가동시키게 되므로 고가인 다른 부품이나 기계 전체의 심각한 파손까지 초래할 가능성이 있는 등 기계의 가동효율이나 보수유지비의 관점에서 볼 때 결코 바람직한 정비 방법이라고는 할 수 없다.

### 2.2. 예방정비

현재의 설비정비는 장치공업의 거의 대부분에서 예방정비(Preventive Maintenance)의 방법이 채용되고 있다. 예로 철강업 등에서는 약 10일 간격으로 10시간 정도의 정기수리일을 정하고 중소규모의 보수를 함과 동시에 년 1회 1주간 정도의 정기수리기간을 설정하고 대수선을 하는 것이다. 이와 같이 어느 일정기간마다 보수를 하기 때문에 시간기준정비(Time Based Maintenance)라고도 부른다. 그림 1은 예방정비를 실시하는 경우의 정비대상설비의 고장밀도 함수  $f(t)$ , 고장율  $\lambda(t)$ , 수리간격  $t_p$ , 수리에 필요한 시간  $t_m$ 의 관계를 보이고 있다. 고장밀도 함수는 시각  $t$ 에서 일정기간내의 고장수를

전체기계의 수에 대한 상대치로서 나타낸 것으로, 마모열화형 설비의 경우는 그림과 같이 평균수명  $t_a$ 를 중심으로 하는 종형상(hanging bell)의 분포가 된다. 이에 대해 고장을  $\lambda(t)$ 는 상기 고장밀도함수  $f(t)$ 와 같은 고장수를 시각  $t$ 까지 고장이 나지 않은 기계의 수에 대한 상대치로서 나타낸 것으로 사람의 사망율에 상당하는 값이다. 이 그림에서 보여주듯이 현장에서의 예방정비간격  $t_p$ 는 안전측(Safety side)에서 취하고, 전체설비의 2% 설비가 수명이 끝나는 시점을 선정한다. 그러므로 전체설비의 2%는 사후정비가 되는 것이 되고, 나머지 98%는 아직 충분히 잔여수명을 갖고 있음에도 불구하고 수리되는 것이 된다.

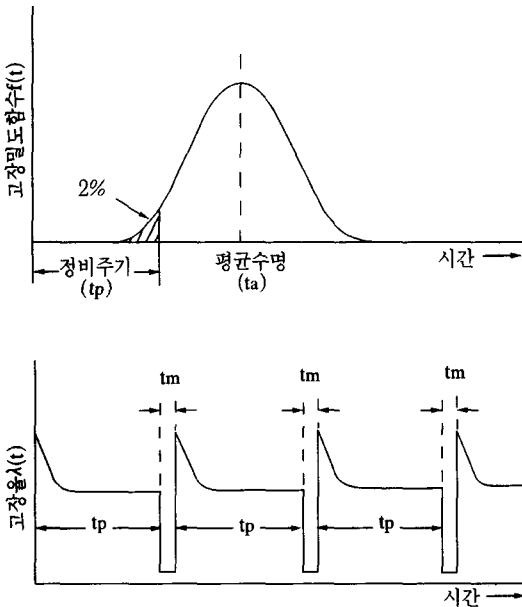


그림 1 예방정비에서 정비주기의 결정방법

예방정비의 주된 결점으로는

- 가) 예방정비를 하여도 항상 어느 정도의 고장이 발생
- 나) 예방정비에 의해 일시적으로 고장율이 상승
- 다) 정비주기  $t_p$ 가 통계적으로 결정되므로, 과

대정비(over maintenance)가 되는 확률이 크다.

- 라) 복잡한 기계에 대해서는 효과가 적다.
- 마) 정기적인 예방정비에 의해 생산성 저하 등이 있다.

### 2.3 예견정비

이러한 재래의 보수유지방법들이 가지고 있는 문제점들을 보완하기 위한 방법으로 최근에 들어 그 적용이 활발히 시도되고 있는 것이 예견정비(Predictive Maintenance)방법이다. 예견정비는 기계설비의 파손을 사전에 감지, 예측하여 적절한 보수계획을 수립해 심각한 파손이 발생되기 이전에 보수를 실시하는 것으로, 정해진 수리간격을 미리 정하지 않고 설비진단기술에 의해 설비의 열화나 고장의 유무를 관측하고 필요한 시기에 필요한 정비를 실시하는 방식이므로 상태기준정비(Condition Based Maintenance)라고도 부른다. 이 방법은 항공기의 엔진, 기어박스(Gear box)나 발전소의 터빈과 같은 중요한 기계설비의 유지에 특히 필요한 관리방법이다.

그림 2는 시간기준(예방정비) 및 상태기준정비(예견정비)의 차이를 나타낸다. 그림 중 상태기준정비, 즉 예견정비의 특징을 설명하면, 초기 작동후 정상적인 운전상태가 될 때까지 기계상태는 점차 좋아지고 기계수명의 대부분 기간동안 유지되다가 파손이나 이상의 발생시기에 도달하게 되면 기계상태가 급격히 악화되기 시작한다. 일반적인 예견정비는 기계상태가 이상이 시작되는 초기파손기간에 기계파손의 가능성을 처음 예측하며 이에 따른 잠정적인 진단을 내리고, 상태가 더욱 악화된 2차파손기간에 이르면 이상을 정확히 판단하여 파손시기를 예측하여 보수시기를 결정하고 이에 따른 구체적 계획을 수립하여 파손이 일어나 전체 기계시스템에 영향을 미치기 이전에 적절하게 부품대체 등의 보수에 들어가 기계가동의 중단을 최소화 할 수 있는 정비방법이다.

이 방법은 미리 기계의 파손정도를 규정하여

경보치에 이르게 되면 운전원에게 경고를 하여 최종적으로 기계가 파손되기 이전에 기계를 정지시키는 방법이다.

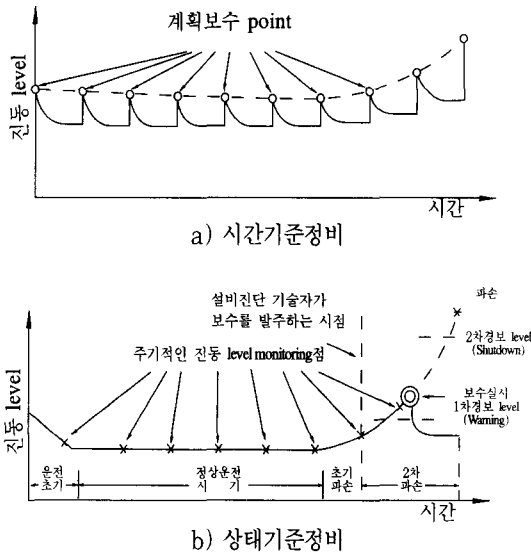


그림 2 예방정비와 예견정비의 비교

### 2.4 예견정비의 특징과 도입효과

시간기준 정비에서는 설비마다의 운전조건 등에 의한 열화의 편차 등을 고려하여 본래의 설비수명보다 상당히 짧은 간격으로 정기적으로 보수를 실시하게 된다. 이 주기를 너무 길게 하면, 설비열화의 편차에 의해 고장이 일어나는 것이 되므로 필연적으로 보수간격은 짧고, 또한 정비량이 많게 된다. 또 보수의 실시에 의해 설비는 그 때마다 초기불량영역으로 반복하므로(그림 1-a) 설비의 신뢰성은 기대한 만큼은 높아지지 않는다. 이와같이 시간기준정비는 설비의 신뢰성을 유지하는 점에서도 정비량을 줄여 정비 cost를 절감한다는 점에서도 본질적으로 결함을 갖고 있다. 이에 대해 예견정비에서는 시간기준정비에서의 정기적 보수가 정기적 진단(diagnosis)으로 바뀌게 된다. 즉 예견정비에서는 정기적으로 이루어지는 것은 보수가 아니고, 진단 또는 감시(monitoring)를 하는 것

이다. 즉 점검주기마다 간이진단에 의해 진동치나 온도 등의 진단파라미터를 충실히 측정하고 시간에 대해 plot 한다. 이를 열화경향관리라 부른다. 이 값이 미리 정해진 임의 level에 도달할 때 정밀진단을 실시하고 위험에 도달할 때 까지의 시간을 예측하여 최고의 정비타이밍을 결정한다. 즉 예방정비에서는 정비가 일정기간마다 실시되지만, 예견정비에서는 일정기간마다 간이진단이 이루어지고 정비는 진단자료를 기초하여 수시 실시된다.

예견정비의 방식으로는

가) 일정주기마다 진단을 실시하고, 그 진단 결과에 기초하여 수리시기가 결정된다. 따라서 일정주기마다 실시되는 것은 진단으로 수리는 진단에 의해 필요로 간주되는 시점에서 실시된다.

2) 일정주기마다의 진단에 의해 열화가 발생하지 않는다고 판단되는 설비는 그대로 운전이 계속된다. 즉 진단자료에 의해 명확히 수리의 필요성이 입증되지 않는 한 이루어지지 않는다.

다) 설비를 집단으로서 평균수명이나 고장율 등을 산출하는 것이 아니고 설비를 개체로서 개개의 설비진단에 의해 관측하는 것에 의해 신뢰성을 추정한다.

예견정비를 하면 다음과 같은 장점과 도입효과가 있다.

가) 설비상태를 정확히 모니터링하고 있으므로 과대정비(over maintenance)에 의한 Cost의 상승을 억제

나) 정비에 필요한 man power 감소

다) 기계설비의 심각한 파손을 사전방지

라) 안전성의 향상, 조업과 품질의 안정화

마) 정기적인 보수를 하지 않기 때문에 재로나 정비량을 줄일 수 있음

바) 보수에 따른 인위적인 고장(human error)을 방지

사) 기계부품의 적절한 시기 교체

아) 설비나 정비업자와의 교섭유리

자) 정기보수 유지기간의 연장

차) 정상운전 중 발생 가능한 예기치 않은

파손방지(기계시스템의 신뢰성 향상)  
 카) 기계부품의 불필요한 교체 배제  
 타) 예비부품의 재고기간 단축과 과도한 예비부품 준비 불필요  
 파) 대기설비(stand by의 예비설비)의 감소가 가능하고, 설비의 투자효과가 향상  
 하) 에너지 이용율의 향상, 조업 cost의 감소  
 가) 설비의 정지계획의 정도가 향상  
 나) 제품공급의 안정화로 고객관계가 호전  
 이러한 상태진단기술의 적용으로 얻을 수 있는 경제적인 효과를 살펴보면, 미국 전력연구소(EPRI:Electric Power Research Institute)에서 1983년부터 1985년까지 연구한 결과, 1마력당 연간 보수유지비용이 사후정비의 경우 \$17~\$18, 예방정비의 경우 \$11~\$13, 예견정비의 경우 \$7~\$9로 예견정비기술이 적용될 경우 경제성이 아주 우수하다고 알려지고 있다.

또한 예견정비를 도입하는 cost로서는 초기투자로서 퍼진단설비의 구입시 가격의 1~5%, 이후 운용 cost로서 연간 정비의 약 1%의 경비가 부가적으로 필요하다. 그러나 이에 의한 이점은 연간정비 cost의 5%의 절약과 생산손실의 약 10%가 감소한다고 알려져 있다.

그림 3은 영국의 제지공장에서 실적자료에 기초하여 사후정비, 시간기준 및 상태기준정비의 경우 정비량과 설비line정지의 관계를 나타낸 것이다.

막대그래프의 폭은 정비를 위한 설비line 정지기간을, 그리고 높이는 정비량을 나타내며 그래프의 면적이 정비의 총량 또는 정비 cost를 나타낸다. 예견정비(상태기준)를 이용하므로써 정비를 위한 설비line정지기간 및 정비 cost를 대폭 저감할 수 있음을 보이고 있다.

### 3. 고장의 종류와 형태

고장이란 정비용어로서 「규정의 기능을 달성하는 능력의 종결」로 정의된다. 따라서 다음과

같은 고장이 포함된다.

- 가) 돌발적으로 시스템의 기능이 손실되는 파국적인 고장
- 나) 기기의 기능저하에 의한 기능적인 고장
- 다) 장치가 정상적으로 동작 중에서도 운전자가 부득이 동작을 정지하는 경우

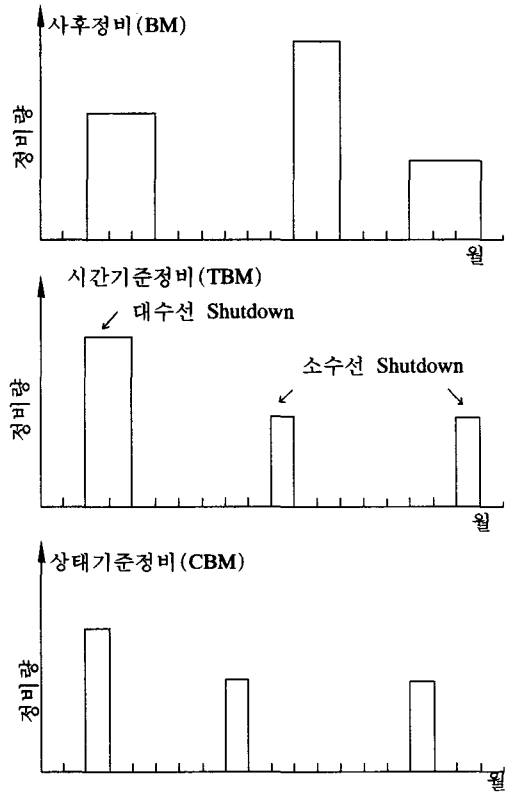


그림 3 정비방법에 따른 정비량의 비교

### 3.1 고장의 분류

「고장」이라하는 단어는 성능의 저하가 그 자체의 기능적인 능력에 제공하는 영향의 대소에 의해 여러가지로 사용된다. 경제성, 안정성, 기술적 복잡성, 진행속도, 인과 관계, 이들 모두가 고장을 기술하는 분류기준을 제공한다.

1) 고장의 발생상태에 의한 분류

가) 간헐고장 : 극히 단시간, 기계요소의 어느 기능이 손실되지만, 또 즉시 원래의 상태로 돌아오는 고장

나) 영구고장 : 기계요소의 어느 기능을 잃어버리고, 그 기계요소부품의 일부가 교환될 때까지 그 상태가 계속되는 고장

2) 고장의 정도에 의한 분류

영구고장은 다시금 다음의 2종류로 분류된다.

가) 완전고장 : 설정의 기능이 완전히 손실된 고장(어느 경우에는 완전히 기능이 손실되었다고 하는 한계치에도 사용예에 따라 해석에 폭이 있는 것에 주의해야 한다.)

나) 부분고장 : 규정된 기능이 완전히 손실된 것은 아니고, 일부의 기능이 손실되는 것에 의한 고장

3) 진행속도에 의한 분류

완전고장이나 부분고장도 그 발생의 예측가능성에 의해 다음과 같이 분류된다.

가) 돌발고장 : 사전의 점검이나 시험에서도 예측불가능한 고장

나) 점진고장 : 사전의 점검이나 시험에 의해 예측가능한 고장

4) 고장의 정도와 진행속도의 조합에 의한 분류

정도과 진행속도의 조합으로 고장은 다시금 분류된다.

가) 파국고장 : 돌발고장에 의한 완전고장

나) 열화고장 : 부분고장에 의한 점진고장

5) 고장원인에 의한 분류

가) 마모고장 : 그 기기의 설계시에 예측된 정상인 마모현상에 기인하는 고장

나) 오용고장 : 사양의 값을 넘어서 부하가 부가되는 것에 기인하는 고장

다) 선천고장 : 시스템, 혹은 기계요소의 설계나 조립불량에 기인하는 고장으로 부가된 부하가 규정의 한도내에서도 발생하는 것

6) 위험도에 의한 분류

고장은 중요한 고장이든 부수적인 고장이든

그 위험도에 의해 2종류로 대별된다.

가) 위험고장

① 안전장치에서 필요한 때에 기능이 작동하지 않는 고장

② 공작기계에서 공작물이나 작업원에 손상을 주는 것과 같은 고장

③ 수송시스템에서 brake의 고장 등

나) 안전고장

① 안전장치에서 필요하지 않을 때에 안전장치가 작동하는 고장

② 공작기계에서 시동되지 않는 고장

③ 수송시스템에서는 필요하지 않을 때에 brake가 작동하는 고장

3.2 고장의 형태

Davies는 그의 논문 중에서 기계의 고장진단에 관련지어서 시스템이나 기계요소의 신뢰성의 연구에 있어서 알려져 있는 3종류의 고장, 즉 초기고장, 우발고장, 마모고장에 대해 다음과 같이 설명하고 있다.

1) 초기고장

그림 4는 부하와 강도의 여유를 규정하고 있는 우주항공에 있어서의 실례를 나타내고 있다. 기계요소의 품질은 전체로서 설계점의 주위에 정규분포하고 있어야 하나, 때로는 「약한」기계요소의 강도가 작동부하의 값 이하에 분포하는 경우가 있다.

여기서 강도라 하는 말은 넓은 의미에서 품질을 의미하는 것으로서 이용되고 있다. 이 문제는 새로운 종류의 결합이 품질관리의 눈을 벗어나는 경우나 조립방법이 안좋은 상태가 발생하는 경우에 일어난다. 이 문제로 전자기기의 경우에는 장비된 상태에서 통전하는 것이 보통이고, 엔진의 분해수리후의 운전시험도 이 때문에 수행된다.

2) 우발고장

그림 5에 나타내듯이 부하와 강도의 여유가 적다고 생각되는 경우에는, 우발고장이 문제로

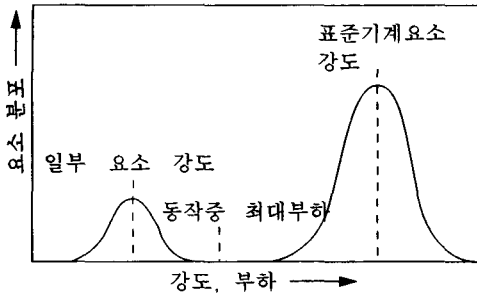


그림 4 초기고장의 확률

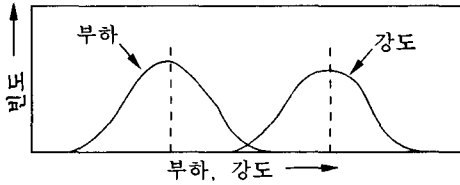


그림 5 우발고장의 확률

된다(성능에 대한 요구와 중량에 대한 요구가 상반되는 항공기가 전형적인 경우이다). Gauss 분포로 되는 기계요소의 강도하한의 부분이 부하 분포의 상한과 때로는 중복되는데, 이러한 경우에는 우발고장이 발생한다. 이러한 상태를 개선하기 위한 두가지 방법이 있다. 하나는 두개의 평균치를 분리한다. 즉 강도를 높이고 부하를 낮추는 방법이다. 또 하나의 방법은 각각의 분포의 표준편차를 적게한다. 즉 품질관리의 관리치를 엄격하게 하고 기기의 사용범위를 한정하는 것이다.

3) 마모고장

그림 6에 마모고장의 두가지 예를 보인다. 곡선 A는 전형적인 예로서 운전시간 M을 평균치로 하고 고장발생시간은 정규분포를 하고 있다. 표준편차  $\sigma$ 는 전체의 고장발생수의 일정비율을 규정하고 있으므로 허용된 고장발생의 확률에서 수명을 설정하는 것이 가능하다. 예로  $-3\sigma$ 에서는 약 98%로 매우 좋다. 실제로는 곡

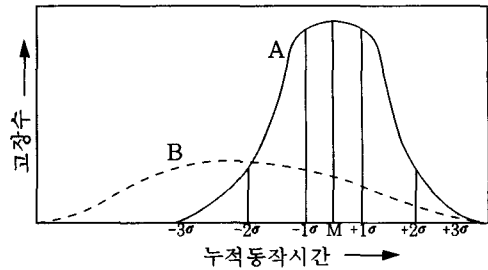


그림 6 열화고장

선 B로 나타내는 경우도 많이 보여진다. 이러한 경우가 본질적인 열화고장이라 불리울지 모르나, 고장이 지극히 넓은 시간범위에 분포하기 때문에 시간관리는 불필요한 것이 많고 비효과적이다. 따라서 수명의 설정에 앞서서 이 분포를 고려한 실제의 고장해석이 필요하다.

3.3. 고장조사

항공기산업에서는 추락한 항공기의 기술조사는 고장원인에 관한 정보를 얻는 기본적인 방법으로 생각되어 지고 있다. 국제민간항공협회(ICAA)의 항공사고조사 매뉴얼에서는, 사고조사의 방법을 권장하고 있을 뿐만아니라, 원인의 규명방법, 조사의 기초 및 다양한 구조고장에 대해서 넓게 해설되어 있다.

Meyer는 고장의 조사방법에 대한 주요 원칙으로서, 다음 사항을 제안하고 있다.

가) 고장조사의 개시가 빠르면 빠를수록 참원인을 동정할 기회는 많게 된다.

나) 증거를 파괴하지 않을 것. 사고나 고장의 현장에 손을 댄다든지 정리한다든지 하지 않는다. 특히 파괴된 면이나 그 근방에는 손을 접촉하지 않을 것.

다) 완전한 기록(보고서, 사진)을 작성한 후 비로서 손을 댈 것. 분해한 부품은 필히 각각 확인하고, 각각 원래 위치로 바르게 조립하여 놓을 것. 증거품은 각각 변형되지 않도록 주의 깊게 취급하고 포장할 것.

라) 파괴의 개소를 그 주위의 상황으로부터 분리하여 좁은 범위로 한정하지 않을 것. 주위의 상황증거에서 최대한의 정보를 끌어낼 수 있도록 서서히 고장의 핵심부에 손을 대도록 할 것. 직접적인 원인이나 부분적인 고장원인은 다른 원인으로 일어난 주요한 고장의 단순한 실마리 밖에 되지 않을 가능성이 있다. 복수의 고장의 원인이 연쇄되어 있는 편이 일반적이다.

마) 안이하게 결론을 이끌어 낸다든지 추측하지 않을 것. 모든 사실을 수집하고, 그후 중요하지 않은 것을 버린다. 기억에 의존하지 말고 사진이나 기록, 스케치를 중용할 것. 고장원인은 그것이 발견되었을 때만이 아니고, 기타 모든 원인의 가능성이 없어졌을 때 비로소 확정되는 것이다.

바) 대상으로 되는 증거나 사정청취로부터 모든 사실을 모으고, 고장에 이르는 진실의 경과를 얻도록 임할 것. 사람의 추측이나 의견을 충분히 심의하지 않고 인정해서는 안된다. 인간의 지각이나 판단, 결정은 잘못되어 있는 경우가 많고, 선입견에 사로 잡히기 쉽다. 특히 혼자 수궁하지 말 것.

사례에 따라서는 그 성격상 전형적인 고장이

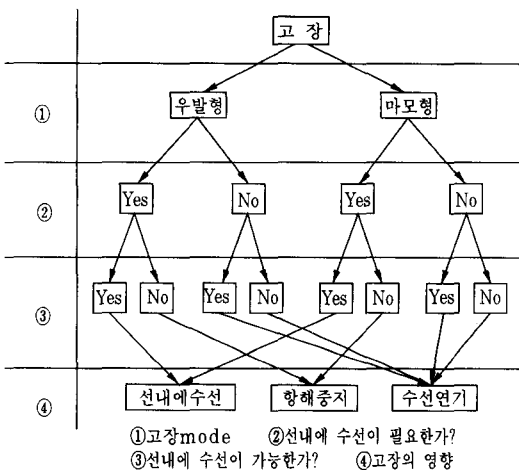


그림 7 고장결정논리의 sequence

라도 완전한 기록은 불가능할지도 모르나 고장 원인이 동정된 사례의 기록으로부터는 고장진단에 관한 어떠한 지표를 얻는 것이 가능하다. 중요한 고장도 대부분은(전부는 아니지만) 지극히 단순한 것. 예로 조임볼트의 느슨함이나 와셔를 안끼움, 구성기계 요소의 조립불량, 부주의한 밸브조작 등에 의해 일어난다.

#### 4. 고장해석

##### 4.1 고장/복구의 결정을 위한 해석

예방정비 및 사후정비를 하는데는 설비의 위험율(hazard율)의 확인과 충분한 예비품의 준비에 의해 신뢰성과 정비성의 평형을 취할 필요가 있다.

기계적고장은 부품-component-시스템의 레벨마다의 기능에 있어서 또한 정비작업에 있어서 많은 다른 영향을 갖는 고장모드를 나타낸다. 마모고장은 시간에 의존하고 동시에 증가율도 완만하지만, 우발고장은 돌발적으로 사전관측으로는 예측할 수 없다.

가) 필요한 기능의 전체 결여

나) 필요한 기능의 일부 결여

이들의 차이는 복구여부, 복구연기의 가부에 의해 복구의 상황에 영향을 끼친다.

Mathieson은 선박에 관하여 예비부품, 공구의 유용성, 정비원의 능력 등이 복구 효율을 결정하는 요소라 하고 있다. 이 의미에서는 고장발생에서 복구까지의 시간의 경과가 결정적인 요인으로 될 것이다. 그와 같은 문제에 관한 논리적 모델을 그림 7에 나타낸다.

##### 4.2 치명도 해석

설비의 신뢰성 평가를 수행하기 전에 각종의 sub system을 list-up하고, 이들에 관해서 치명도를 고려하는 것이 유용하다. Item의 치명적 중요성 또는 치명도란 중요성, 설비의 다른 부분

에 대한 지지능력, 불신뢰도의 영향 및 안전상태에 있을 때의 영향 등의 척도라 할 수 있다. 치명도의 평가방법은 Venton과 Harvey에 의해 자세히 설명되고 있다. 치명도 해석의 첫단계는 상호의존 chart의 작성이다.

표 1은 선박기기에 관한 예로서, 어느 정도 단순화하고 있지만, 중요한 기능 또는 시스템을

표 1 상호의존 chart

		시스템의 상호의존												
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
(1)	엔진			C	C					C		C	C	C
(2)	변속기													
(3)	연료					C								
(4)	압축공기					C					C			
(5)	발전			C	C						C	C		
(6)	조타기					C								
(7)	감판기기					C								C
(8)	해수					C								
(9)	bilge와 ballast					C								
(10)	환기					C								
(11)	배기													
(12)	제어					C								
(13)	증기			C							C	C		

을 전부 나열한 것이다. 여기에서는 트롤선을 대상으로 하고 주엔진, 변속기, 연료, 압축공기, 발전, 배전, 조타기, 감판기기, 해수, 빌지 및 Ballast, 환기, 배기, 제어, 증기 등의 설비를 포함하고 있다. Chart는 이 설비의 상호의존을 명료하게 나타내고 있다.

다음의 단계는 그 기능의 각부에 관해서 치명도의 순위(rank)를 결정하는 것이다. 표 2에는 트롤선의 수송에 관한 기능에 대해서 고찰하고 있다.

설비전체에 대응한 치명도는 표 3에 나타나고 있다.

이것은 이 선박이 수송의 기능과 트롤 기능을 갖고 있고, 각각에 0.5의 가중치(weight)를 준다고 하는 가정하에 작성되어 있다. 신뢰성 해석에 이용하는 data가 부족한 경우에도 고찰의 대상인 설비 및 그 순위의 결정이 필요로 된다. 해석순서는 무작위(random) 또는 다소계통에 따라 결정하면 좋다. 주관적인 방법에서도 그 순서는 결정하지 않을 수 없다. 이상이 개개의 설비의 신뢰성해석을 하기 전에 치명도의 문제를 해결하기 위한 하나의 방법이다.

표 2 치명도 chart

중요성	중요성의 평점	support	support의 평점	불신뢰성의 평점	치명도의 평점	치명도의 index	순위	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
(1)	√	10		1	12	121	50.4	3
(2)	√	10		1	2	22	9.2	10
(3)	√	10	1, 5, 13	6	10	160	66.6	2
(4)	√	4	1, 5	4	14	112	46.6	4
(5)	√	10	3, 4, 6, 7, 8, 9	10	12	240	100.0	1
(6)	√	10	10, 12	1	1	11	4.6	12
(7)	×	1		1	4	8	3.3	13
(8)	×	2	1	2	8	32	13.3	7
(9)	×	2		1	8	24	10.0	9
(10)	√	10	1, 4, 5, 13	8	6	108	45.5	5
(11)	√	10	1, 5, 13	6	1	16	6.7	11
(12)	√	10	1	2	4	48	20.0	6
(13)	×	2	7	2	8	32	17.3	7



- (a) : 해석의 대상설비
- (b) : '중요', '중요하지 않음', '대기'의 기준으로 부터 평가된 시스템의 중요성
- (c) : 1(중요하지 않음)에서 10(매우 중요함)까지의 등급으로 나눈 시스템의 중요성의 평정
- (d) : 서브시스템의 상호의존의 관계를 나타낸 표 1의 서브시스템 번호
- (e) : 각각의 설비에 앞의 열에서 주어진 정보에 기초하여 support의 평점(1-10)이 주어져 있다.
- (f) : 1(최저의 신뢰성)에서 20(최고의 신뢰성)까지의 숫자로 나타낸 설비의 불신뢰성의 평점
- (g) : 치명도의 평점 (c), (e), (f)의 요인을 조합한 것. 연료시스템(3)을 예로한 치명도의 평점(g)는  $(10+6) \times 10 = 160$ 으로 된다.
- (h) : 서브시스템의 합으로 설비전체의 치명도지수(g)에서의 최대의 평점은 발전시스템(5)의 240, 즉 연료시스템(3)의 상대적인 치명도지수는  $(160/240) \times 100 = 66.6\%$ 이다.
- (i) : 치명도의 순위는 (h)의 높은 순대로 임. 즉 발전시스템(5)이 치명도평점 100%의 최고순위(No.1), 이어서 치명도평점 66.6%의 연료시스템(3), 가장 순위가 낮은 치명도평점 3.3%의 갑판의 기기(No.13)이다.

표 3 총 치명도 chart

	운송(0.5 가중치)	트롤링(0.5 가중치)	초기치명도 index	안 정 성 평 점	총 치 명 도 평 점	총 치 명 도 index	순위
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
(1)	61	82	143	8	1,144	47.7	2
(2)	11	17	28	8	224	9.3	7
(3)	80	80	160	6	960	38.4	3
(4)	56	56	112	1	112	4.7	11
(5)	120	120	240	10	2,400	100.0	1
(6)	6	12	18	10	180	7.5	9
(7)	4	24	24	1	28	1.2	13
(8)	16	16	32	8	256	10.7	6
(9)	12	12	24	7	168	7.0	10
(10)	54	54	108	4	432	18.0	5
(11)	8	8	16	3	48	2.0	12
(12)	24	24	48	4	192	8.0	8
(13)	16	32	48	10	480	20.0	4

- (b)와 (c) : 각각의 독립된 항목에 0.5의 중요성(가중치)을 준 치명도평점
- (d) : 최종적인 치명도지수를 준 항목치명도지수의 합((b)+(c))
- (e) : 선박의 안전에 대한 역할의 중요성으로부터 1~10의 숫자를 대응시킨 안정성의 평점
- (f) : (d)와 (e)
- (g) : (f)의 값을 최대치에 대하여 %를 표시한 것. 이 예에는 (f)로부터 최대치는 2400이므로, 이 값에 대한 %를 표시하였다. 변수각(2)에 대해서는  $(224/2400) \times 100 = 9.3\%$ 가 된다.
- (h) : 순위는 총치명도지수(g)의 값에 대응한다. 이 순위는 신뢰성해석이 불충분한 경우에 해석해야 할 시스템의 순위 및 선박의 운용에 대한 시스템의 중요한 순서를 나타내고 있다.