

## 어선기관의 고장진단과 대책 (I)

한국어선협회 검사관리부  
주임검사원 강 대 선

기관을 다루는 사람의 과제는 어떻게 하면 기관을 이상없이 운전하며, 어떻게 하면 기관의 이상을 조기발견하여 그 수명을 오래도록 유지하게 하느냐 하는 것이다. 그러므로 작은 이상(異常)이라 할지라도 기관을 다루는 사람은 그것을 무심히 넘길 수 없으며 그 원인을 파악하고자 여러 가지를 생각하게 된다. 즉, 기본적인 이론과 경험과 터득한 기술을 대입하게 되는 것이다. 그래서 작은 문제를 해결하게 되고, 그것은 곧 큰 사고를 사전에 예방하는 지름길이 되는 것이다.

이 글은 기관(추진축계를 포함하며, 디젤기관을 중심으로 함) 각부의 작은 문제로부터 큰 고장에 이르기까지를 각 계통별로 원인분석하고 그 대책을 알아보고자 한 것이며, 기관을 다루는 사람의 계획적인 기관관리에도 도움이 되고자 한 것이다.

수년전부터 박용(船用)엔진 제조업체에서는 수요자의 요구에 부응하여 그 설계방침에 두가지의 주안점을 두고 내연기관을 발달시켜 왔다. 한쪽은 과급도(過給度)를 보다 고도로 발전시켜 엔진의 효율을 좋게하는 것이고, 다른 한쪽은 고속 소형화(高速小型化)하여 엔진의 마력당 중량과 부피에 비하여 고효출력을 내고자 하는 것이다.

어느 쪽이나 경제적인 측면을 고려한 것이며, 상당한 원가절감과 연료소모량감소를 가져온 것이 사실이다. 그러나, 엔진구조자체가 보다 정밀해지고 복잡해진 판계로 다루는 사람 또한 고도의 기능을 갖추어야 함이 필요하게 되었다. 조금만 방심하게 되면 작은 이상을 발견할 겨를도

없이 큰 고장을 일으키게 되고, 고장에 따른 수리 또한 정도(精度)를 요하므로 Maker를 통해 전반적인 신품신환이 불가피하게 되는 경우가 많아 잘못하면 기관이 발달해온 경제적인 고려에 역행(逆行)하게 될 수도 있기 때문이다. 따라서 앞으로는 기관을 다루는 사람도 이론과 경험을 겸비한 기술자가 되어야 하는 것이 절실히 요구된다 하겠다.

이러한 배경하에 이 글을 신게 되었으며, 이 글은 일본 어선기관연구그룹의 “漁船機關의 故障診斷”(畑 稀夫, 草間 喜代松, 山田敏夫 共著)을 중심으로 각 기관전문서적과 본인의 경험을 토대로하여 보다 이해하기 쉽도록 설명하려 하였음을 부언(附言)하는 바이다.

### 제 1장 Cylinder계 (系)

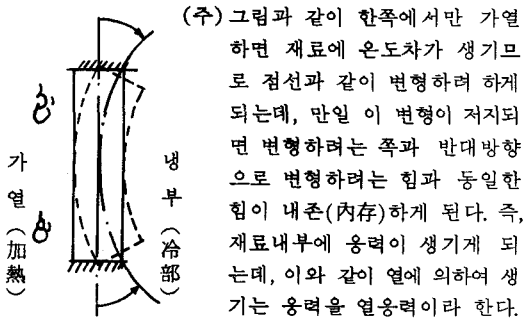
#### 1. 실린더 카버(Cylinder cover)

실린더 카버의 재료로는 일반적으로 회주철(灰鑄鐵)이 사용되고 있다.

실린더 카버는 실린더의 상부에 취부되어 그 하면(下面)은 연소실의 일부를 형성하고 있는데, 4 Cycle디젤기관은 흡·배기밸브, 연료분사밸브, 시동밸브 등이 취부되어 있어 구조가 상당히 복잡하다. 더우기 하면의 연소실측은 기관내부에서도 가장 높은 온도와 압력을 받으므로 아래와 같은 균열 등의 고장을 일으키는 예가 많다.

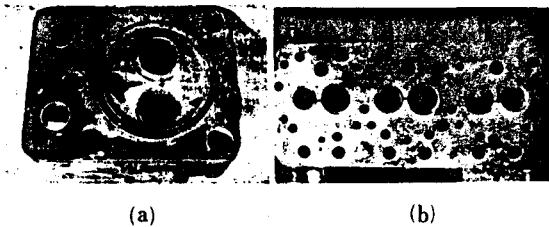
가) 열응력(熱應力)에 의한 균열(龜裂)

실린더 카버의 흡·배기밸브의 위치는 서로 대칭이 되도록 설계하는 것이 보통인데, 흡기 밸브측은 온도가 낮고 배기 밸브측은 온도가 높으므로 흡기밸브측에는 열에 의한 팽창이 적고, 배기 밸브측에 가까울 수록 팽창은 크게 된다. 즉, 온도분포가 불균등(不均等)의 원인으로 배기 밸브측으로부터는 압축력(壓縮力)을, 흡기 밸브측으로부터는 인장력(引張力)을 받게되는 열응력(그림 1-1)이 발생한다.



〈그림 1-1; 열응력〉

이러한 열응력의 반복으로 재료가 피로하게 되어 흡·배기밸브, 연료분사밸브, 시동밸브 등의 취부구멍과 구멍사이에 걸친 균열 및 구멍의 가장자리를 따라 방사상(放射狀)으로 일어나는 균열이 발생하기 쉽다. 〈그림 1-2의 (a)와 (b)〉는 실린더 카버의 열응력에 의한 균열의 예(例)이다.



〈그림 1-2; 균열〉

열응력에 의한 균열을 방지하기 위해서는 되도록 카버를 과열(過熱)시키지 않아야 하는데, 이를 위해서는 과부하운전(過負荷運轉)을 피하고 냉각수통로와 배기통로가 막히지 않도록 하는한

편 흡·배기밸브의 작동을 양호하게 유지하여야 한다. 특히, 겨울철에 기관을 휴지(休止)시에는 냉각수를 전부 빼서 냉각수가 어는 것을 방지하여야 하며, 흡·배기밸브의 고착방지와 작동을 원활하게 하기 위한 방법으로는 기관을 정지하기 전에 각 밸브로드(Valve rod)에 소량의 경유(潤滑유)에 1/3가량의 경유를 섞어 사용할 수도 있다)를 주입하도록 한다.

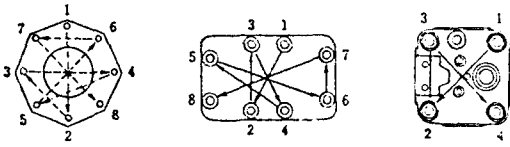
나) 냉각수측에서의 부식(腐蝕)과 균열(龜裂)

냉각수로 해수를 사용하는 기관에서는 냉각수통로의 부식과 맹전부(盲栓部; Blind plug)의 부식이 생겨 냉각수가 누설하게 되거나 냉각수통로에 스케일(Scale)이 끼여 통로를 좁게 하므로 국부적(局部的)으로 과열되어 열응력을 한층더 조장하게 된다. 따라서, 냉각수온도가 올라가지 않도록 하고(차후 냉각계에서 다시 언급할 것임), 냉각수통로는 스케일이 끼지 않도록 자주 소제할 필요가 있다.

다) 볼트 죄임 및 실린더카버 조립의 적부(適否)

실린더 카버를 조립시에는 한쪽으로부터 죄이든 지 또는 너무 과도하게 죄여지지 않도록 주의해야 한다. 카버의 취부볼트는 적어도 4개 이상이므로 이를 대각선상으로 순서있게 차례로 죄어야 한다. 이는 단순히 카버의 균열을 방지하는 것뿐 아니라 실린더가 변형하여 편마모(偏摩耗)하는 것을 방지하기도 하는 것이다. 동일하게 죄이는 힘도 마찰면의 상태에 따라 죄여지는 정도가 달라지므로 스티드 볼트·너트(Stud bolt & nut)의 청결상태와 스티드 볼트의 실린더 블럭(Cyl. block)에 취부된 상태(실린더 카버를 분해시 풀리는 경우가 많으므로 재조립시 필히 확인요함)를 확인하고, 실린더 카버를 조립한 후에도 혹시 한쪽으로부터 죄여져 누수(漏水) 또는 누기(漏氣)하지 않는지 살펴볼 필요가 있다.

흡·배기밸브 박스(Box), 연료분사밸브 등의 조립부에는 팽창대(膨脹代)가 있으므로 흡·배기밸브 박스, 연료분사밸브 등을 삽입시에는 카본(Carbon) 등의 부착물을 완전히 제거하고 조립하여야 한다. 그렇지 않으면 당연히 카버에 무리한 힘이 가해지게 되고, 나아가서는 균열의 원인이 된다. 〈그림 1-3〉은 각 실린더 카버 형상에 따른 취부볼트의 죄임순서를 나타낸 것이다.



〈그림 1 - 3; 볼트의 죄임순서〉

## 2. 실린더 라이너 (Cylinder liner)

실린더 라이너의 재료로는 내열성(耐熱性) 및 내마모성(耐摩耗性)이 큰 특수주철 또는 니켈크롬(Nickel chrome)주철이 주로 사용된다. 주철은 다량의 흑연을 함유하고 있으므로 그 흑연이 감마작용(減摩作用)을 함과 동시에 기름을 흡수하는 특성을 가져 실린더의 표면에 윤활유를 스며들게 함으로써 윤활작용도 하게 된다.

실린더 라이너는 실린더 커버 및 피스톤과 같이 연소실의 일부를 형성하고 있는데, 피스톤이 빠른 왕복운동을 하며 접촉하고 있으므로 피스톤 링(Piston ring)의 기밀작용(氣密作用)을 원활하게 하기 위해서는 라이너의 내면을 매끄러운 진원(眞円)에 가까운 정밀한 기계가공으로 한 것이어야 한다.

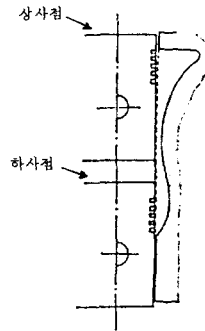
실린더 라이너의 구조는 라이너와 자켓(Jacket)을 일체로 한 일체형과 자켓내에 라이너를 삽입한 라이너형이 있다.

### 가) 실린더의 마모

실린더 라이너와 피스톤 링의 마모는 기계마모와 부식마모로 구분된다. 기계마모는 습동면(濕動面; 摩擦面)의 매우 작은 돌출부분들과의 마찰과 습동면사이에 끼인 분말, 즉 흡입공기, 연료, 윤활유중의 모래나 녹 또는 연소에 의하여 생긴 카본 등의 작용으로 발생한다. 부식마모는 연료의 불완전연소로 인하여 생기는 산성물질과 연료중의 유황분으로부터 생기는 유산(硫酸)의 작용으로 발생한다. 이 부식성의 산(酸)은 실린더의 표면을 부식시켜 취약(脆弱)하게 만들고 이렇게 취약하게 된 표면을 링이 긁어내므로 새로운 표면이 또 부식을 하게 되어 마모는 진행된다.

이와 같이 실린더 라이너와 피스톤 링의 마모는 기계마모와 부식마모의 상호작용으로 인하여 촉진되는 것이다. 실린더의 마모가 심한 곳은 일반적으로 제 1 링의 상사점(上死點)위치 부근으

로 단면(斷面)의 마모형상은 〈그림 1-4〉와 같이 나팔꽃과 같은 형상을 보인다.



〈그림 1 - 4; 라이너의 마모형상〉

이제부터 실린더의 마모는 실린더의 표면과 링과의 관계에 의해 생긴다는 것을 알아보자.

제 1 링의 상사점위치 부근에서 실린더의 마모가 많은 것은 피스톤의 왕복운동의 속도가 0으로 될 때 유막(油膜)이 형성되기 어렵고, 더우기 그 부분의 온도가 높으므로 윤활유의 점도(粘度)가 저하하며 또한

가스(Gas)압력이 높아 링이 강한 압력으로 누르게 되므로 유막은 더욱 더 형성되기 어렵게 되어 결국 실린더와 릿은 직접 마찰하게 된다.

뿐만 아니라 피스톤의 상사점부근은 연소가스에 노출되어 있는 시간이 길어지므로 전술(前述)한 바와 같이 유산 등이 생기는 양도 많아져서 부식마모와 함께 제 1 링의 상사점위치 부근에서 실린더의 마모가 현저하게 되는 것이다.

특히, 시동시에는 실린더벽의 온도가 낮고 표면의 윤활유가 부족하므로 마모가 증가하며, 실린더 마모의 대부분이 이때 발생한다.

실린더의 마모는 기관의 종류, 운전상황, 연료 및 윤활유의 성상(性狀), 보수정비의 정도 등에 따라 매우 큰 차이가 있다. 일반적으로 주철실린더의 마모율은 연료를 A중유, 보통의 윤활유를 사용할 경우 피스톤속도 6m/s이하의 4행정 트랭크형(Trunk形)피스톤 기관에서는 대체로 표 1-1의 범위에 속한다.

표 1 - 1 주철실린더의 마모범위

단위: mm

실린더의 직경	1,000 시간당의 마모범위
100 ~ 150	10 / 100 ~ 15 / 100
200 ~ 300	7 / 100 ~ 10 / 100

2행정 기관에서는 피스톤의 열부하(단위시간에 연소되는 연료의 열량을 피스톤의 단면적으로 나눈 값)가 높으므로 윤활유의 열화(劣化)가 현저하며, 또한 윤활유의 분포도 그다지 한 형태로 되

기 어려운 이유로 4행정 기관에 비해 4~5% 정도 마모가 많게 된다.

#### 나) 실린더 마모의 악영향

실린더가 마모하면 실린더 내의 기밀유지가 어렵게 되어 출력은 저하(低下)하고 연료 및 윤활유의 소비량은 증가한다. 또한, 연소가스가 크랭크실(Crank室)로 누설하여 윤활유가 열화오손(劣化汚損)된다. 이로 인하여 실린더와 링이 고체접촉(固體接觸)하여 마모는 촉진된다. 한편, 연료소비의 증가와 함께 연소시간이 지연되어 불완전연소를 일으키므로 피스톤, 흡·배기밸브, 노즐(Nozzle) 등을 가열하여 오손시키며 배기온도도 상승한다. 그리하여 링고착(Ring固着)을 일으키고, 배기밸브의 밸브 시트(Valve seat)를 손상시켜 밸브 로드를 고착시키게 되며, 배기터빈과 급기가 오염되어 배압(背壓)이 높아지므로 새로운 공기의 흡입을 방해하게 된다. 이들의 현상은 악순환(惡循環)하여 기관의 실린더마모 및 성능저하를 촉진시키고, 안정된 운전을 계속하기 어렵게 할 뿐아니라 기동(起動)도 곤란하게 만든다.

#### 다) 실린더 마모의 방지

실린더마모는 앞에서 기술(記述)한바와 같이 실린더 라이너 및 링의 재질(材質), 연료유 및 윤활유의 성상, 운전조건 등이 복잡하게 영향을 미친다. 따라서 그 대책도 이들의 여러면에서 고려를 해야 하지만, 여기서는 주로 기관의 취급적인 면에서 대책을 기술하고자 한다.

기관의 취급적인 면에서 마모를 방지하기 위한 우선적인 주의는 기관의 냉각상태에서의 시동 및 운전을 피하여야 한다는 것이다. 정지해 있던 기관은 실린더벽의 윤활유가 거의 흘러내리므로 남아있다 하더라도 매우 적은 양이다. 때문에 시동하여 실린더상부까지 윤활유가 골고루 퍼질 때까지는 상당한 시간이 소요되며, 기관온도가 낮으므로 윤활유의 점도가 높아질 때까지의 시간도 길어지는데 그 사이에 기관은 수회(數回) 회전하게 된다. 이와 같이 기관시동시에는 실린더벽의 윤활유가 부족한데다 실린더벽의 온도 또한 낮으므로 부식성산(腐蝕性酸)의 응축량이 많아져 직접 실린더벽에 접촉하게 되기 때문에 실린더벽이 현저하게 부식된다. 또한, 연소가 불완전하게 되기 쉽고, 미연소(未燃燒) 연료유에 의하여 윤활유가 묽어지는 등의 이유로 실린더마모는 급격히 증가하게 된다. 실험에 의하면 10시간 운전마다 정지시동하는 기관의 실린더마모는 200~300시간 마다 정지시동하는 것의 5배가 된다. 또한, 시동전 냉각수온도를 60°C로 예열(豫熱)하면 시동시의 실린더 등의 마모는 15°C인 경우의 1/2 이하로 줄어든다는 보고가 있다. 따라서 자주 시동을 행하는 소형기관은 예열하는 것이 바람직하지만, 곤란하다면 윤활유가 어느정도 골고루 퍼질 수 있도록 충분히 터닝(Turning)하고 시동후에도 상당한 시간동안 난기운전(暖機運轉)을 하여야 함이 필요하다. (다음호에 계속)