

어선기관의 고장진단과 대책 (Ⅲ)

한국어선협회 검사관리부
주임검사원 강대선

제 2 장 Piston 계(系)

1. 피스톤 (Piston)

피스톤은 그 두부(頭部)가 실린더 카버의 내면과 함께 연소실을 형성하고 있는데, 연소행정(燃燒行程)에 의해 두부에 고온·고압의 폭발가스를 받아 실린더내를 왕복운동하여 연결봉(Connecting rod)을 매개(媒介)로 크랭크(Crank)축에 회전력(回轉力)을 주는 중요한 부품이다. 피스톤은 상부의면(上部外面)에 연소실의 고압을 형성하기 위한 압축링(Compression ring)을, 하부의면(下部外面)에 실린더 벽과의 윤활을 돕기 위한 오일 링(Oil ring)을, 중앙내부에 연결봉을 연결하기 위한 피스톤 핀(Piston pin)을 구비하고 있으며, 하부에 왕복운동에 따른 가이드 슈(Guided shoe) 역할과 접촉면적(接觸面積)을 크게 함으로써 측압(側壓)의 영향을 적게 하기 위한 피스톤 스커트(Piston skirt)부로서 이루어져 있다.

4 Cycle 무과급저속기관(無過給低速機關)은 운전중 압축행정(壓縮行程)의 끝에 공기가 압축되어 상사점(上死點)에 이르렀을 때 압축압력 30 ~ 35 kg/cm², 온도 600 °C 이던 것이 점화폭발(點火爆發)하면 폭발최고압력 50 kg/cm², 온도는 대략 1300 ~ 1400 °C에 달하게 된다. 과급(過給), 고과급(高過給)으로 갈수록 가스의 온도 및 압력은 더욱 상승하여 초고과급기관(超高

過給機關)에서는 폭발최고압력 90 kg/cm² 또는 그 이상에 달하는 것도 있다.

무과급기관에서는 온도측정 기술이 발달되지 않았던 점도 있었지만, 그다지 큰 고장(故障)의 문제가 없었으므로 피스톤의 온도계측은 거의 행해지지 않았었다. 근래에 와서 열부하(熱負荷)의 증가에 따라 피스톤 운전중의 온도분포(溫度分布)가 문제되므로 온도측정이 왕성하게 진행되고 있다. 그림 2-1은 피스톤 정부(頂部)의 온도분포를 나타내며, 실린더 내경(內徑) 350 mm, 평균유효압력(平均有效壓力) 8.14 kg/cm²의 과급기관의 예이다.

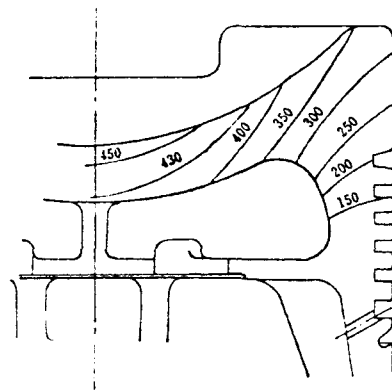


그림 2-1. 피스톤정부 온도분포의 일예 (단위 : °C)

정부연소실 및 링 그루브(Ring groove) 부를 포함한 피스톤 두부(頭部)의 두께 형상은 과열에 의한 소손(燒損)에 대비하여 가능한 한 열의

호름(放散)이 방해받지 않도록 설계되어야 한다. 재질에 있어서는 일반적으로 고온·고압에 견디고, 열전도성(熱傳導性)이 좋으며, 내마모성(耐摩耗性)이 있는 퍼라이트(Perlite) 주철(鑄鐵)이 사용되고 있지만, 중·고속기관(中·高速機關)에서는 속도가 크게 되므로 운동부분을 가볍게 하고 힘의 균형을 좋게 하기 위하여 알루미늄 합금의 피스톤을 사용하는 경우가 많다. 그러나, 알루미늄 합금의 열팽창율(熱膨脹率)은 주철의 2배 정도나 되므로 제작시에 두부(頭部)뿐만 아니라 피스톤 전체의 직경을 작게 해서 실린더와의 간극을 크게 하고 있다.

가) 피스톤의 소착(燒着)

피스톤의 소착은 먼저 피스톤의 변형으로 부터 시작된다. 피스톤의 스커트(Skirt)부에는 피스톤 핀을 지지하는 부분(Piston pin boss)이 있고, 이 부분의 두께는 다른쪽보다 두텁다. 이러한 형상의 스커트부가 열을 받으면 피스톤 핀의 축방향(軸方向)으로 팽창이 크게 되므로 그림 2-2와 같이 변형된다.

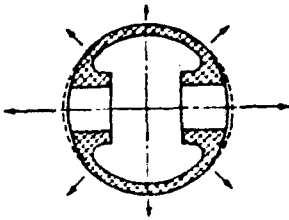


그림 2 - 2. 피스톤의 변형(팽창)

그러므로 피스톤·핀 홀(Hole)주변의 피스톤 스커트부는 운전중의 팽창에 의한 변형을 예측해서 이 부분의 팽창여유분을 더 가공하고 있다. 그러나, 팽창의 정도가 크게 되면 핀부 여유가 공분의 경계면이 팽창의 불균형(不均衡)으로 인하여 마멸(磨滅)을 일으키게 되므로 절대로 과부하운전(過負荷運轉)을 해서는 안되는 것이다. 또, 피스톤에 카본(Carbon)이 심하게 증가되면 냉각이 방해받게 되어 팽창에 따른 소착의 원인이 되므로 불완전연소(不完全燃燒)가 되지 않도록

주의해야 한다.

고정식 피스톤 핀의 경우에는 핀을 조립시 너무 빠빠하게 끼워 넣게 되면 피스톤 보스에 무리한 힘이 가해져서 이로 인해 피스톤 스커트부에 응력(應力)이 생기고, 운전전(運轉前)에 이미 변형되어 그림 2-3과 같은 소착의 원인이 될 뿐만 아니라 심한 경우에는 균열을 일으키게도 된다.



그림 2 - 3. 피스톤의 소착

공작불량(工作不良)으로 인하여 피스톤 핀과 브라스의 조립상태가 나쁘게 되면 피스톤은 축방향으로 경사(傾斜)지고, 또 피스톤과 실린더와의 간극이 너무 크게 되면 핀과 직각방향으로 경사하게 된다. 이와 같은 상태로 피스톤이 실린더내

를 습동(習動)하게 되면 피스톤 상하단이 실린더 벽에 강하게 밀리게 되므로 마멸(磨滅)을 일으키게 된다.

피스톤이 소착할 정도가 되면 운전중에 배기색이 나쁘고, 출력이 저하(低下)하며 폭발음(爆發音)도 비정상(非正常)으로 되므로 판단하기가 쉽지만, 일부에 마멸(磨滅)을 일으킨 정도로는 판단하기가 어렵다. 그러므로 고장을 미연(未然)에 방지하기 위해서는 피스톤의 분해 후 피스톤의 표면(表面)상태로부터 피스톤 녹유무(Knock有無), 마모상황(摩耗狀況), 홈(欠) 등을 점검하여 그 원인이 무엇이었는가를 알아 볼 필요가 있다. 또한, 정기적으로 실린더와 피스톤 간극의 적부(適否)를 조사하고, 동시에 피스톤 직경을 측정하여 편마모(偏摩耗)의 정도를 알아 볼 필요가 있는데, 고정식(固定式) 피스톤 핀의 경

우에 있어서는 핀을 끼워 넣은 상태로 계측하여야 한다.

간접적(間接的)으로 관계되는 것으로서 메인 베어링(Main bearing)의 편마모에 따른 중심선의 어긋남, 피스톤·핀 메탈과 크랭크·핀 메탈(Crank pin metal)의 편마모, 스타스트 베어링(Thrust bearing)의 마모 등이 있는데, 이들도 재조정해야 할 것이다. 피스톤 습동부(習動部)의 소착을 방지하고 라이너와의 융합(融合)을 좋게 하기 위하여 청동납합금(靑銅鉛合金)의 금속띠를 피스톤 몸체(胴)에 설치하는 것도 있다.

나) 피스톤의 균열(龜裂)

피스톤의 균열은 열응력(熱應力)에 의한 재료의 피로(疲勞)가 원인이다. 운전중에 피스톤 정부는 전술한 바와 같이 매우 높은 온도가 된다. 또한, 흡입공기나 연료분사방향 등의 영향으로 피스톤 정부의 열흡수나 열방산(熱放散) 상황이 불균등(不均等)하게 되므로 열이 전주위에 골고루 미치지 못하고 다소의 온도차가 생기며, 원주단부(圓周端部)나 중심의 두꺼운 부분 등에 온도차가 생기게 된다. 따라서 열응력의 발생은 이러한 온도차가 원인이 되는데, 이를 피하기는 어렵지만 가능한한 크지 않도록 해야 할 것이다. 그러기 위해서는 앞에서 기술(記述)한 바와 같이 파부하 운전을 행하지 않도록 주의해야 한다.

다음으로는, 역시 피스톤에 카본이 누적(累積)되어 방열효과를 저해(沮害)함으로써 과열의 원인이 되는데, 이를 방지하기 위해서는 정기적으로 피스톤 각부의 카본을 제거해 주어야 함은 물론 불완전연소가 되지 않도록 최대한 노력해야 할 것이다.

소손(燒損)과 균열이 발생되기 쉬운 부분은 피스톤의 정부, 제 1 링의 그루브(Groove)부, 분해용 아이 볼트(Eye bolt)구멍의 단부(端部), 흡·배기밸브 도피자리파기의 각부(角部), 또는 피스톤·핀 보스에 접하는 링 그루브(Groove) 등이 있는데, 그림 2-4는 피스톤 정부의 균열 실예(實例)이며, 이러한 균열을 방지하기 위하여 운전취급상(運轉取扱上)으로는 연소(燃燒), 윤활(潤滑) 및 냉각관리(冷却管理)에 특히 만전(萬全)을 기하여야 할 것이다.

2. 피스톤 링 (Piston Ring)

피스톤 링은 압축링(壓縮 Ring)과 오일 링(Oil ring)으로 대별(大別)된다. 압축링은 연소실의 기밀(氣密)을 보지(保持)하는데, 운전중에 링은 실린더 벽의 전주(全周)에 밀착되어 상하로 습동(習動)하여 실린더와 피스톤과의 간극을 유지하면서 압축공기나 연소가스의 누설을 방지하는 동시에 유막(油膜)을 통하여 피스톤의 열을 실린더에 전달하는 역할도 한다. 피스톤에 유입되는 열량중에서 링부(Ring 部)를 통하여 실린더로 전달되는 열은 약 70%에 달하는 것으로 되어 있다.

오일 링은 실린더 내면(內面)에 윤활유를 골고루 분포(分布)시키며, 여분(餘分)의 윤활유가 연소실에 들어가 연소되는 것을 방지하기 위해 링과 링 그루브에 뚫려진 구멍으로부터 피스톤의 내면을 통하여 크랭크실(Crank 室)로 되돌아 가도록 한다.

피스톤 링은 실린더 내면 전주(全周)를 동일하게 밀착하여 가스를 밀봉(密封)시키기 위해 적당한 면압(面壓)을 가지고 접촉(接觸)할 것과, 실린더가 마모되어도 장력(張力)을 가지며, 운전중 고온에 노출(露出)되어도 장력을 잃지 않고 내마모성(耐摩耗性)이 클 것 등이 요구된다.

피스톤 링의 재질로는 일반적으로 조직(組織)이 치밀한 특수주철(特殊鑄鐵)이 사용되고 있다



그림 2 - 4. 피스톤정부의 균열

며, 그 형상은 일부에 절구(切口)를 가진 환상(環狀)의 것으로서 일반적으로 사용되고 있는 단면형상(斷面形狀)은 그림 2-5와 같다. 또, 피

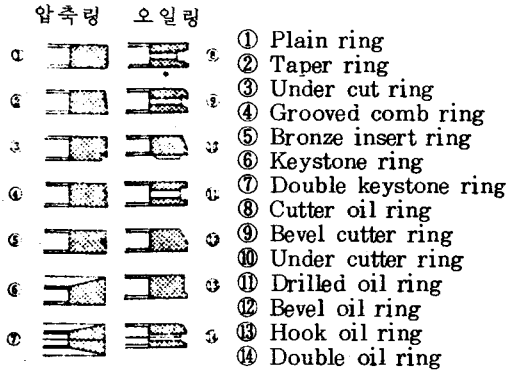


그림 2-5. 링의 단면형상

스톤 링의 절구(切口)의 종류는 그림 2-6(A)와 같은데, 절구틈으로 부터 가스가 누설하기 쉽고 특히 회전수가 낮은 쪽일 수록 그 영향이 크게 되므로 이 부분의 형상에 대해 여러가지로 연구되고 있다.

그림 2-6(B)는 링을 피스톤의 링 그루브에 끼워 실린더에 취부(取付)했을 때의 접촉형상(接觸形狀)을 나타낸 것이다.

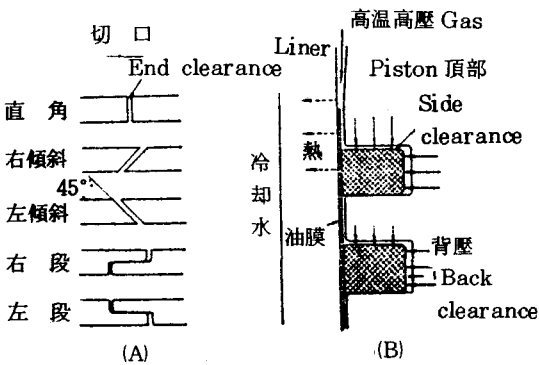


그림 2-6. 링의 절구 및 접촉형상

(A) 링의 절구 (B) 링과 실린더의 접촉형상

링 절구(切口)의 간극(Gap, End clearance), 링과 링홈과의 상하(上下) 간극(Side clearance), 또 링의 배면(背面)과 링홈 내면과의 간극(Back Clearance)이 부적당하게 되면 마모, 소손, 고착(固着)을 일으키게 되고 끝내는 절손(折損)하게 된다.

실린더 및 링의 마모는 초기(初期)에 진행이 빠르지만, 일단 한번 길이나면 진행의 정도가 감해지는데, 이 초기 마모기에 양호한 접촉면을 갖도록 하기 위해 피스톤 링 표면에 페록스(Peroxide)처리(處理)를 하기도 하고 또는 내마모성을 향상시키기 위해 크롬(Chrome) 도금(鍍金)을 시행하기도 한다.

가) 피스톤 링의 마모

링의 마모는 링의 선택의 적부(適否)에 따라 크게 좌우되는 것으로 엔진 Maker에서 지정(指定)하는 것을 사용할 필요가 있다. 링의 마모는 실린더 습동면(習動面)과 상하면(上下面)의 마모가 있는데, 습동면의 마모쪽이 크고 또 이것은 실린더의 마모와 밀접(密接)한 관계가 있다.

운전중에 피스톤의 카본이 누적(累積)되어 열의 전달이 불량하게 된다든지, 과부하운전을 행한다든지 해서 피스톤이 과열한 경우나 실린더에의 윤활유량이 부족한 경우에는 유막(油膜)이 없어지고 링의 마모는 급속하게 진행된다. 링의 마모가 진행되면 가스의 누설이 현저(顯著)하게 되고, 계속해서 피스톤 및 실린더를 과열하여 그 악순환(惡循環)이 반복(反復) 된다. 또, 고온으로 장시간 사용하면 링재(Ring材)의 강도가 쇠약(衰弱)하게 되어 장력(張力)을 잃게 되고, 가스의 누설을 일으킴과 동시에 마모를 촉진(促進)하게 된다.

또한, 불완전연소에 따른 생성물(生成物)의 퇴적(堆積), 윤활유 공급의 과다(過多) 등은 연이어 피스톤 오손(汚損)을 촉진시키고 전술(前述)한 나쁜 결과를 초래(招來)하게 된다. 다시 말해서 링은 고착되고, 어떤 경우에는 링 절손(折損)을 일으키게도 된다. 일반적으로 피스톤 제 1 링 부근의 온도는 200°C 이하가 되도록 설계되어 있는데, 이 온도가 이상(異常)하게 올라가게 되면 윤활유는 열화(劣化)를 일으켜 실린더 고착의 원인이 된다.

링의 폭(幅)과 링홈과의 상하간극(Side clearance)의 적부여하(適否如何)는 큰 문제를 가지고 있는 것으로서 링홈의 변형에 큰 영향을 준다. 이 상하간극이 과소(過少)할 때에는 링고착(Ring 固着)의 원인이 되고, 과대(過大)하게 되면 가스가 스며들어 링의 온도가 올라가게 되며, 윤활유의 열화(劣化)가 격화(激化)되고, 홈에 카본의 누적(累積)이 증가되어 고착의 원인이 된다. 또한, 링의 상하움직임이 현저하게 되어 이것이 펌프작용을 함으로써 윤활유의 연소실 상승이 많게 된다. 링홈과의 간극의 표준(標準)은 제 1 링 폭의 1/100 정도인데, 제 2, 제 3 링에서는 이것보다 약간 적은 것이 좋지만, 일반적으로는 제 1 링과 그 이하의 링간극은 동일하게 하고 있다. 더욱 고속기관(高速機關)에서는 단시간에 혼내를 움직일 필요가 있으므로 간극을 다소 크게 잡고 있다.

링 절구(切口)의 간극(End clearance)이 크게 되면 가스가 누설하여 링의 온도는 올라가고, 기름이 타며, 또 링의 배압이 높아져 유막이 없어지고, 실린더와 함께 마모가 촉진된다. 반대로 절구의 간극이 과소할 때에는 열팽창(熱膨脹)으로 인하여 간극이 없어져서 실린더벽에 강하게 밀착하여 흠집을 발생시키고, 고착을 초래(招來)한다. 그러므로 링을 취부하기 전에 절구의 간극을 먼저 측정해서 부족할 때에는 수정(修正)하지 않으면 아니된다.

링 절구의 간극은 제 1 링의 온도상승의 정도에 따라 달라지지만, 일반적으로 실린더에 취부했을 때 실린더 직경의 4/10,000 ~ 5/10,000

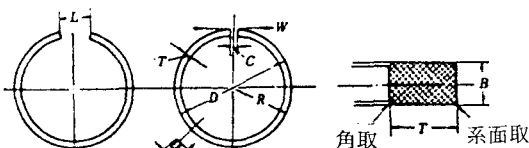
정도가 적당하다. 실린더 취부전의 링의 자유간극(自由間隙)은 직경에 따라 상이(相異)하지만, 대략 실린더 경의 1/10 ~ 1/15 정도이며, 그림 2-7은 링의 자유간극을 나타낸 것이다.

나) 오일 링의 오손(汚損)

윤활유는 실린더와 피스톤과의 사이에 적당히 존재해야 하지만, 트렁크 피스톤(Trunk piston)형에서는 윤활유가 많으면 연소실로 타고 올라가 연료와 함께 연소되므로 윤활유 소비(消費)가 증가되는 경우가 많다. 실린더 내면에 부착(附着)된 윤활유는 회전수가 높을수록, 또 피스톤과 라이너와의 간극이 클수록 그 양(量)이 많다. 그래서 여분의 기름은 오일 링으로 긁어 내려 윤활유 고임부로 떨어뜨리지만, 연소실로 타고 올라간 윤활유의 일부는 연소해서 배기(排氣)와 함께 소멸(消滅)되는데, 윤활유는 불완전연소해서 배기색(排氣色)이 청색(靑色)으로 된다. 또한, 윤활유의 찌꺼기는 고열로 탄화(炭火)되어 연소실을 오손한다. 윤활유의 열화(劣化)가 현저하면 오일 링의 오손도 크게 되어 오일 구멍이 막히는 등 오일 링의 역할을 못하게 되며, 또한 피스톤이 과열해서 압력링의 재질이 약화되고, 장력(張力)이 없어져 팽창이 불균일(不均一)하게 되면 가스누설을 일으키고, 윤활유를 열화시키며, 오일 링의 오손을 한층 조장(助長)한다.

연소실로 타고 올라간 윤활유가 연소하게 되면 윤활유소비량도 현저히 증가 하고, 발연(發煙)함으로서 흡·배기밸브나 기타의 제(諸)밸브를 오손시킬 뿐만 아니라 배기통로를 폐쇄(閉塞)시키게 되어 출력(出力)부족 현상도 초래하게 된다. 오일 링의 스크레이퍼(scraper)면이 마모하여 그 폭이 증대(增大)하면 접촉하는 압력이 감소하고, 윤활유 긁어내림 작용이 저하(低下)되므로 적당한 시기에 교환(交換)해 줄 필요가 있다. 더욱, 오일 링을 장착(裝着)할 때에는 상하의 방향이 바뀌지 않도록 주의해야 할 것이다.

링의 오손에 따라 일어나는 장애(障害)는 기관각부에 큰 영향을 주고 이들을 점검, 정비하는데에는 대분해(大分解)를 해야하는 큰 일이므로 평소 운전중에 세심한 주의를 기울여 장시간의 과부하운전을 피하고, 윤활유 관리를 엄중(嚴重)히 행함은 물론, 항상 연소상태를 감시(監視)하여 이상(異常)이 없도록 하여야 할 것이다.



- L = 自由切口的 간극
- D = 링을 밀착시킬 때의徑
- B = 幅
- T = 半徑方向의 두께
- W = 自由切구를 D까지 밀착시키는데 요하는 힘

그림 2 - 7. 링의 자유간극