

선박용 디젤기관의 피스톤 파손사고에 대한 연구

김종호⁺

A Case Study on the Failure of Piston for Marine Diesel Engine

Jong-Ho Kim⁺

Abstract : The Any failure of piston of marine diesel engine must be regarded as serious, and any steps which can be taken to prevent such failure are desirable. The purposes of this study is to investigate and to analyse the failure causes of piston of marine diesel engine. If this paper has accomplished that end it can be counted as being of some slight value to the marine industry.

Key words : Marine Diesel Engine(선박용 디젤기관), Piston(피스톤), Ring Groove(링홈), Compressive Pressure(압축압력), Failure(파손), Fatigue Fracture(피로파괴), Ductile Fracture(연성파괴), Metal Flow(금속 섬유소)

1. 서론

선박용 Diesel Generator Engine이 운전 중 Blow by현상이 심각하여 해당기관을 정지하고 개방한 결과 No.1, 2, 5실린더의 피스톤 및 실린더 라이너에 손상이 발생하였다. 이 디젤기관은 낮은 입출항으로 인하여 기동과 정지, 병렬운전이 빈번히 이루어지는 소형선박에 설치된 것으로 Yanmar S-165 L-DTN로서 1200 r.p.m에서 420마력을 출력을 낼 수 있는 기관이다. 본 연구에서는 이 Diesel Generator Engine(이하 “사고 기관”이라 한다)에 발생한 피스톤의 손상에 대한 원인을 조사·분석하는 데에 있다.

2. 손상부 검사 및 고찰

2.1 피스톤의 손상

사진 1-2는 사고 기관의 피스톤을 촬영한 것으로 사진 1은 피스톤의 아래 쪽, 사진2는 피스톤의 위쪽에서 각각 촬영한 모습을 나타낸다.

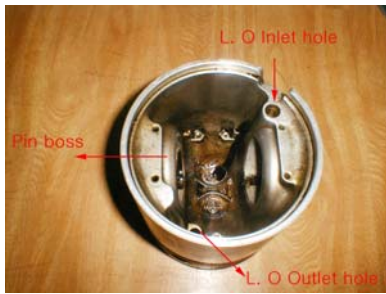


Photo 1



Photo 1



Photo 3

사진 3은 알루미늄합금 피스톤의 손상모습을 참고문헌²⁾에서 인용한 것이다. 이 피스톤은 사고 당시 1,000시간 정도 운전 중 파손된 것이다. 사진에서 알 수 있는 바와 같이 정상적인 연소가 이루어지는 경우 피스톤 크라운에는 연료유의 분사 형태가 나타나게 된다. 그러나 사고 기관의 피스톤 크라운(사진 2참조)에는 이러한 모습이 보이지 않으며 적지 않은 카본에 축적되어 있는 것을 알 수 있다. 따라서 사고가 발생한 시점을 전후하여 해당 실린더의 연소상태는 양호하지 않았다는 것을 추정할 수 있다.

사고가 발생한 시점을 전후하여 해당 실린더의 연소상태가 양호하지 않게 되는 경우는 여러 가지를 고려할 수 있으나 금번 사고 기관은 다음 2가지로 대별할 수 있다.

Case-1 : 피스톤 링 그루브의 절손에 의해서 실린더 내의 압축압력이 저하되고 이어서 분사되는 연료의 연소가 불량하게 되는 경우

Case-2 : 연소불량에 의해서 발생한 카본이 피스톤 링 그루브에 축적되어 피스톤 링의 원활한 운동을 방해하면서 최종적으로 링이 파손되는 경우

⁺ 김종호(한국해양대학교 기관시스템공학부), E-mail:kjh@mail.hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4251

2.2 피스톤 링 그루브의 손상



Photo 4



Photo 5

사진 4는 손상된 피스톤의 링 그루브를 촬영한 것이다. 사진에서 “a”, “b”, “c”로 표시된 부분은 링 그루브가 어떤 원인에 의해서 없어진 부분을 나타내며, “d”로 표시된 부분은 피스톤 크라운 본체의 일부가 어떤 원인에 의해서 없어진 부분을 나타낸다.

사진에서 Oil hole은 피스톤 크라운의 냉각 목적으로 피스톤 크라운에 주조된 부분을 나타내는 것으로 공급된 L.O의 출구에 해당된다.(사진 1 참조)

사진 5는 전술한 사진 4의 A-A방향을 확대한 것으로 사진에서 “c”로 표시된 것은 피스톤 크라운과 일체를 이루고 있지만 “b”로 표시된 것은 피스톤 크라운과 일체가 아님을 알 수 있다. 즉 “c”로 표시된 것은 피스톤 크라운의 주조 당시 형성된 것이고 “b”는 주조 후 피스톤 크라운에 적절한 곡률을 가공한 후 끼운 것으로 추정된다.

사진에서 화살표로 표시된 부분은 링 그루브의 손상면을 나타내는 것으로 이 면은 링 그루브가 녹으면서 만들어진 것으로는 보이지 않는다. 조사자의 경험³⁾⁻⁴⁾에 의하면 이 손상면은 반복적인 하중이나 외력에 의해서 파손된 것을 육안을 통하여 추정할 수 있다.

또 이 부분은 피스톤 크라운 냉각용 L.O의 출구부분에 가까운 부분이고 전술한 바와 같이 피스톤의 윤활 상태가 양호하였다는 것을 고려할 때 피스톤 크라운의 과열에 의해서 특별하게 이 부분만이 칼로 도려내듯이 용융되는 것은 쉽게 상상할 수 없는 경우라고 사료된다.

3. 결론

선박용 Diesel Generator Engine이 운전 중 Blow by현상이 심각하여 해당기관을 정지하고 개방하여 발견된 No.1, 2, 5실린더의 피스톤의 손상에 대한 원인을 조사분석하기 위하여 수행한 검사, 참고문헌¹⁾⁻²⁾ 및 조사자의 경험³⁾⁻⁴⁾ 등을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 사고 기관은 운전 중 피스톤의 윤활 또는 냉각불량에 의한 피스톤의 과열은 없었다는 것을 피스톤 크라운의 모습으로부터 추정할 수 있다.
- 2) 사고가 발생한 시점을 전후하여 해당 실린더의 연소상태는 양호하지 않았다는 것을 피스톤 크라운의 모습으로부터 추정할 수 있다. 해당 실린더의 연소상태가 불량하게 된 것은 피스톤 링 그루브의 절손에 의해서 실린더 내의 압축압력이 저하되고 있어서 분사되는 연료의 불완전 연소에 의해서 발생한 것으로 추정된다.
- 3) 링 그루브의 손상면은 피스톤의 과열에 의해서 링 그루브가 녹으면서 만들어진 것으로는 보이지 않는다. 이 손상면은 반복적인 하중 또는 외력에 의해서 파손된 것을 육안을 통하여 추정할 수 있다.
- 5) 손상부는 피스톤 크라운 냉각용 L.O의 출구부분에 가까운 부분이고 피스톤의 윤활 상태가 양호하였다는 것을 고려할 때 과열된 피스톤 크라운에서 특별하게 이 부분만이 칼로 도려내듯이 용융되는 것은 쉽게 상상할 수 없는 경우라고 사료된다. 손상 원인을 보다 정확하게 조사하기 위해서는 링 그루브의 손상면을 채취하여 전자현미경 사진을 촬영하고 파괴역학의 적용이 필요한 부분이다.

참고문헌

- [1] Techno-eye Publication, 1985, Atlas of Fractograph, Techno-eye Publication, p.805
- [2] American Society for Metals, 1985, Failure analysis and prevention, pp.61~63
- [3] Caterpillar Inc, Pistons, rings and liners, Applied failure analysis
- [4] Steel heat treatment handbook, Marcel Dekker Inc., 1999