

디젤기관용 흡기밸브의 파손 사례에 관한 연구

김 종 호[†]

A Case Study on the Failure of Intake Valves for Diesel Engines

Jong-Ho Kim[†]

Abstract : Any failure of intake and exhaust valves of marine diesel engine must be regarded as serious, and any steps which can be taken to prevent such failure are desirable.

The purpose of this paper is to enumerate some of the more obvious causes of valves failure and to suggest certain precautionary practices which can be adopted by all those who are vitally interested in the alleviation of the problem.

If this paper has at all accomplished these ends then it can be counted as being of some slight value to the industry.

Key words : Intake and exhaust valve(흡배기밸브), Failure(파손), Fatigue fracture(피로파괴), Ductile fracture(연성파괴), Preexistent defect(선재결함), Valve mushroom(밸브머리), Valve spindle(밸브봉), Friction weld(마찰용접부)

1. 서 론

디젤기관용 흡배기밸브가 사용 중 정기적인 보수 주기 내지 검사 주기 내에서 그 기능을 상실하거나 파괴 또는 소성 변형되는 등의 파손사고는 적지 않게 발생되고 있다.

통상 흡배기밸브가 파손되는 경우 사용 재료의 적합성 내지 불량, 강도 부족, 운전 잘못 등에 일단 의심의 눈초리를 두는 경우가 적지 않다.

그러나 디젤기관용 흡배기밸브의 설계단계에서는 반복되는 하중에 대하여 충분한 안전율이 고려되고, 사용 목적에 적합한 재료가 선택되고, 또한 디젤기관의 운전은 통상 적절한 자격이나 면허를 갖춘 숙련자에 의해서 이루어 진다는 것을

고려하면 사용 중 파손되는 밸브의 파손원인을 규명하는 것은 간단하지 않게 된다.

본 연구에서는 디젤기관용 흡배기 밸브 파손사고에 관련된 참고문헌^{[1]-[6]}, 연구자의 경험 등을 바탕으로 선박용 디젤기관의 흡배기 파손에 대한 파손 원인분석 사례를 제시하고자 한다.

또한 이 연구결과가 현장에서 사고를 줄이거나 방지하는 데에 다소나마 도움이 되기를 기대한다.

2. 파손사례

2.1 파손경위

본 연구의 대상인 흡기밸브는 선박의 주기관용

[†] 책임저자(한국해양대학교 기관시스템공학부), E-mail : kjh@mail.hhu.ac.kr

디젤기관에 사용된 것으로 (6,000 ps @ 550 r.p.m, 400mm ψ x460 mm(stroke), 4 cycles, single acting) 정비 후 1,130시간 운전 중 No.4 실린더의 흡기밸브 2개 모두가 파손되는 사고가 발생하였다.

2.2 파손부품

Photo 1은 파손된 2개의 흡기밸브의 외관을 나타낸 것이다. 사진에서 밸브(A)는 밸브머리(valve mushroom)가 파손되고 밸브봉은 휘어진 상태이며 특히 화살표(\downarrow)로 표시된 부분에서 많이 휘어진 상태이다.

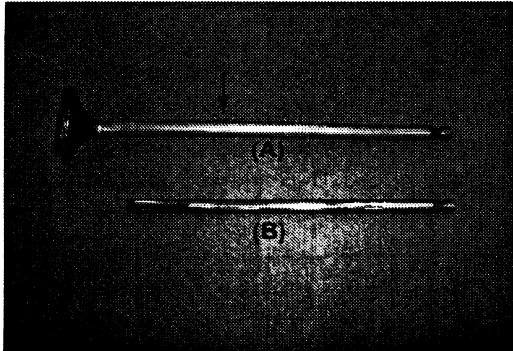


Photo 1 The failed intake valves(A)

사진에서 밸브(B)는 밸브 머리가 떨어져 나가고 밸브봉만 있는 상태이며, 밸브봉도 길이방향으로 약간 휘어진 상태이다. 또 사고 직후 밸브봉은 밸브 가이드(valve guide)에 고착된 상태로 발견되었다.



Photo 2 The close up of failed intake valves(A)

Photo 2는 Photo 1의 밸브(A)를 확대한 것으로 파단부는 사진에서 "O"으로 표시된 곳이다.

2.3 파면시험

2.3.1 밸브(A)에 대한 파면검사

Photo 3과 Photo 4는 밸브(A)의 밸브머리를 근접 촬영한 것으로 반복적인 하중 또는 선재결함(preexistent defect)에 의한 피로파괴의 흔적은 발견되지 않는다. Photo 3에서는 밸브머리가 화살표(\nearrow) 방향으로 찢어진 것이 발견된다. 이것은 재료의 인장강도를 초과하는 단일 과대하중에 의해서 발생한 것으로 추정된다.

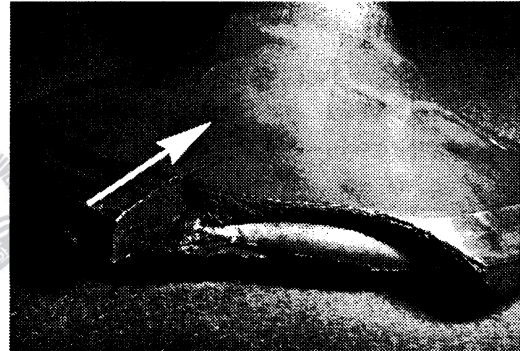


Photo 3 The close up of failed intake valves(A)

2.3.2 밸브(B)에 대한 파면검사

Photo 4 및 Photo 5는 밸브(B)의 파손부위인 밸브봉을 근접 촬영한 것으로 파손부위는 마찰용접부(사진에서 " \rightarrow "으로 표시된 부분)에서 밸브머리쪽으로 10 mm정도에 해당된다.

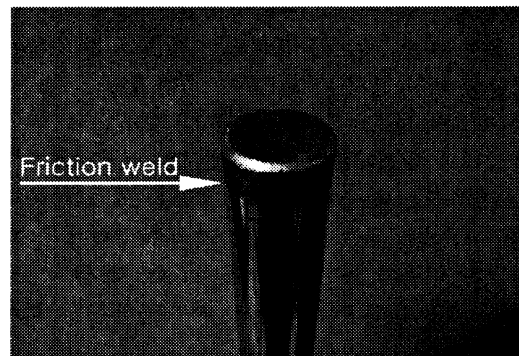


Photo 4 The failed intake valves(B)

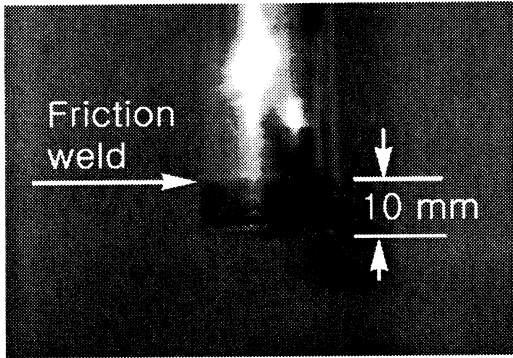


Photo 5 The failed intake valves(B)

또 사진에서 알 수 있는 바와 같이 밸브봉의 파단면은 그 직경과 단면적의 변화가 전혀 없다. 이러한 파단면은 항복강도 이하의 하중이 반복적으로 작용할 때 발생하는 전형적인 파괴 즉 피로 파괴의 예라고 할 수 있다.

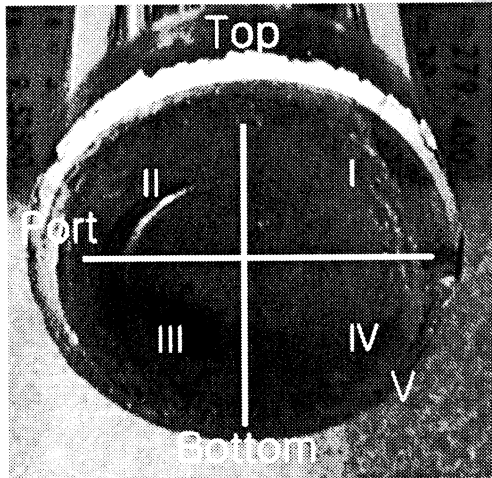


Photo 6 The failed intake valves(B)

Photo 6은 밸브(B)의 파단면에 대한 상세한 조사를 위하여 파단면을 I~V구역으로 나누어 식별 표시를 한 것이다. 사진에서 II 및 III구역은 I 및 IV구역에 비해서 파단면에 부딪친 흔적이 약간 있는 구역이다.

Photo 7은 밸브(B) 파단면의 거시적인 파단과정을 추정하기 위한 것으로 사진에서 피로파괴는 "Port"에서 시작하여 화살표 방향으로 전파된 것이 관찰된다.

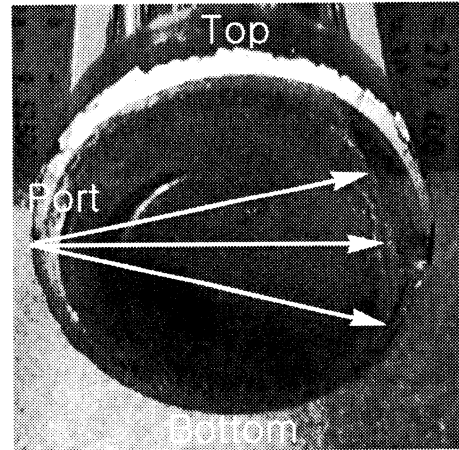


Photo 7 The failed intake valves(B)

Photo 8 - Photo 12는 밸브(B) 파단면의 I-V 구역에 대한 전자현미경 사진으로 I~IV구역은 2000배로 V구역은 500배로 각각 촬영한 것이다.

Photo 8은 I구역에 대한 것으로 사진에서 "→" 방향으로 피로균열이 전파하면서 피로균열의 전형적인 스트라이에이션(striation) 또는 비치 마크(beach mark)를 보이고 있다.

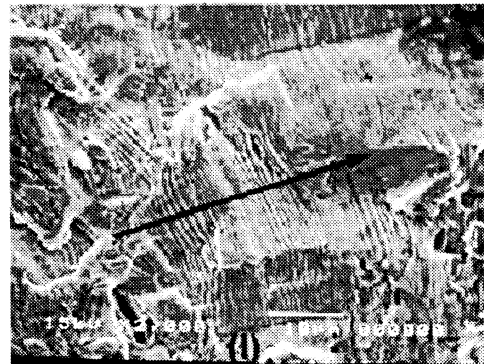


Photo 8 The Fractography of failed intake valves(B), Division I

Photo 9는 II구역에 대한 것으로서는 보다 뚜렷한 피로균열의 흔적이 나타나고 있다.

Photo 10은 III구역에 대한 것으로 이 파단면은 다른 물체와의 부딪침 때문에 피로파괴의 흔적이 많이 지워졌으나, 연성파괴 또는 취성파괴의 흔적은 관찰되지 않는다. 따라서 이 구역도 피로파괴 구간이라고 간주할 수 있다.

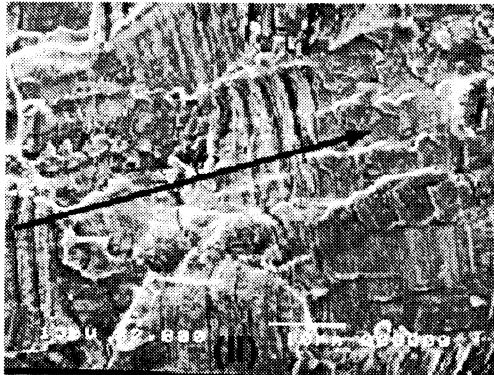


Photo 9 The Fractography of failed intake valves(B), Division II

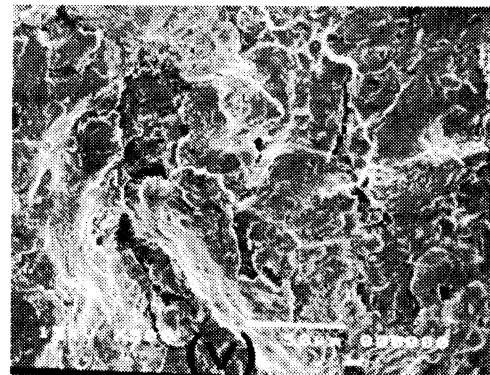


Photo 12 The Fractography of failed intake valves(B), Division V

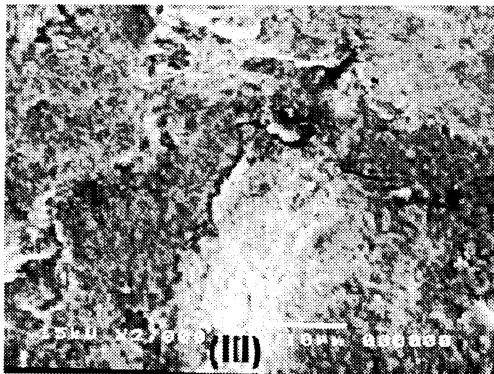


Photo 10 The Fractography of failed intake valves(B), Division III

Photo 11은 IV구역에 대한 것으로 사진에서 화살표 방향으로 피로균열의 흔적이 나타나고 있다.

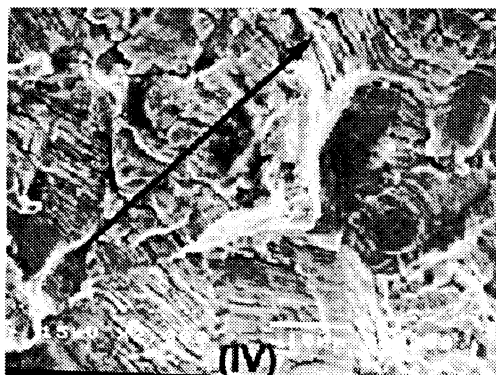


Photo 11 The Fractography of failed intake valves(B), Division IV

Photo 12는 V구역에 대한 것으로 재료에 대한 인장시험에서와 같이 최대인장강도를 초과하는 단일 하중에 의해서 파단된 모습 즉 딬플(dimple)을 보이고 있다. 따라서 이 구역은 밸브봉의 지름을 가로 질러서 전파하는 피로균열의 최종적인 파단부라고 할 수 있다.



3. 고 찰

시료로 제출된 파손 밸브에 대한 외관검사, 파괴역학적 분석 및 현미경 관찰 등을 통하여 고찰하였다.

3.1 파손 밸브(A)의 휘어짐

이것은 사고 당시 밸브에는 밸브 재료의 항복강도(약 70 kg/mm² 전·후)를 초과하는 과대하중이 부가되었고 이 하중에 의해서 밸브머리와 밸브봉은 휘어지게 되었고 과대하중은 다음과 같은 원인에 의해 부가된 것으로 추정된다.

- 1) 밸브(B)에서 떨어져 나간 밸브머리의 충격
- 2) 밸브가 열린 상태에서 밸브봉과 밸브 가이드간의 윤활 불량으로 인한 고착에 의한 피스톤과의 충돌
- 3) 밸브가 닫힌 상태에서 상부간극(top clearance)이 부적절하거나 밸브 시이트링의 높이가 규정보다 큰 경우

3.2 파손밸브(A)의 밸브머리 손상

밸브머리에는 밸브 재료의 인장강도강도(약 90 kg/fmm² 전·후)를 초과하는 과대하중이 부가되었고 이 하중에 의해서 밸브머리는 휘어지고 또 찢어졌으며 과대하중은 다음과 같은 원인에 의해 부가된 것으로 추정된다.

- 1) 밸브(B)에서 떨어져 나간 밸브머리의 충격
- 2) 밸브가 열린 상태에서 밸브봉과 밸브 가이드간의 윤활 불량으로 인한 고착에 의한 피스톤과의 충돌
- 3) 밸브가 닫힌 상태에서 상부 간극이 부적절하거나 밸브 시이트링의 높이가 규정보다 큰 경우

3.3 파손밸브(B)의 직경 변화

이 밸브 직경변화가 거의 없다는 것을 고려하면 밸브의 파단부에는 밸브 재료의 항복강도 보다 낮은 하중이 반복적으로 부가되었고, 이 하중에 의해서 밸브봉에는 지름방향으로 피로균열이 발생·전파하여 최종적으로 파단된 것을 알 수 있다. 디젤기관에서 밸브봉에는 연소가스의 압력과 로커 암의 충격에 의한 하중이 반복적으로 가해지게 되는 데 이 하중은 재료의 항복강도 또는 피로한도(대략 항복강도의 1/2) 보다 훨씬 낮은 하중이지만 밸브봉의 표면에 결함이 존재하거나 편심된 하중 형태로 부가되는 경우 피로파괴는 발생하게 된다.

밸브봉에 부가되는 하중은 다음과 같은 원인에 의해 부가된 것으로 추정된다.

- 1) 밸브가 열린 상태에서 밸브봉과 밸브 가이드간의 윤활 불량으로 인한 고착에 의한 피스톤과의 충돌
- 2) 밸브가 닫힌 상태에서 상부 간극이 부적절하거나 밸브 시이트링의 높이가 규정보다 큰 경우

Photo 13은 참고문헌[1]에서 피로파괴가 발생한 밸브봉의 현미경사진을 인용한 것으로 이 사진과 파손밸브(B)의 밸브봉 파단면은 흡사한 것을 알 수 있다.

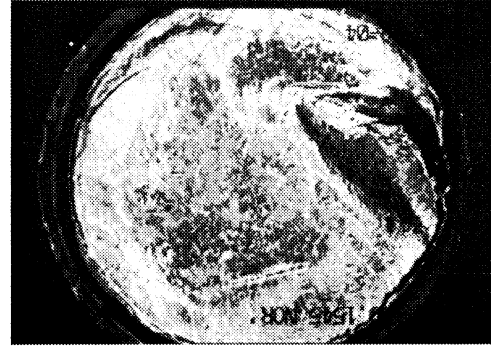


Photo 13 A typical fractography of fatigue fracture

3.4 파손 밸브(B)의 휘어짐

이 밸브에는 밸브 재료의 항복강도(대략 70 kg/fmm² 전·후)를 초과하는 과대하중이 부가되었고 이 하중에 의해서 밸브봉은 휘어지게 되었고 과대하중은 다음과 같은 원인에 의해 부가된 것으로 추정된다.

- 1) 밸브가 열린 상태에서 밸브봉과 밸브 가이드간의 윤활 불량으로 인한 고착에 의한 피스톤과의 충돌
- 2) 밸브가 닫힌 상태에서 상부 간극이 부적절하거나 밸브 시이트링의 높이가 규정보다 큰 경우
- 3) 밸브(B)에서 떨어진 밸브머리의 충격

4. 결 론

선박 주기관용 디젤기관에서 발생한 흡기밸브의 파손사고의 원인을 조사분석하기 위하여 수행한 파손 밸브에 대한 파괴역학적 시험과 검사, 참고문헌 및 조사자의 경험 등을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 파손된 밸브(A)와 밸브(B)의 밸브봉이 휘어졌다는 것은 운전 중 밸브에 설계하중(허용응력)을 초과하는 과대하중이 부가되었다는 것을 의미한다.

2) 밸브(B) 재료의 불량, 사용 중 침식 또는 부식에 의한 결함 등에 의해서 밸브(B)의 밸브봉에 피로파괴가 발생하고 이때 실린더 내에 떨어진 밸브(B)의 밸브머리는 과대하중으로 작용할 수 있고, 밸브(A)의 밸브머리와 밸브봉에 손상을 줄

수 있다.

3) 밸브(B) 재료의 불량, 사용 중 침식 또는 부식에 의한 결함 등에 대한 객관적인 증거는 제시할 수가 없다. 왜냐하면 밸브(B) 파단면의 바깥부분은 다른 물체와 부딪치면서 그 표면이 뺨작거릴 정도로 습합된 상태이므로 피로균열의 발생점을 찾는 것은 현실적으로 불가능하기 때문이다.

참고문헌

- [1] Techno-eye Publication, Atlas of Fractograph, Techno-eye Publication, p.805, 1985
- [2] American Society for Metals, Failure analysis and prevention, pp.61~63, 1985
- [3] Mitsubishi Diesel Engine, Exhaust Valve Inspection Report, 1995
- [4] Metals Handbook Vol. 1, Properties and selection : Ferrous alloys and special-purpose materials, ASM, 1997
- [5] Steel Heat Treatment Handbook, Marcel Dekker Inc., 1999
- [6] Metals Handbook Vol. 9, Metallography and micro structure, ASM, 1996

