

박용엔진 실린더 커버 스테드의 구조거동 분석

김병주⁺·이재옥⁺⁺·박진수⁺⁺⁺·김세락⁺⁺⁺⁺

Structural Behavior of the Cylinder Cover Stud of Marine Diesel Engine

Byung-Joo Kim⁺, Jae-Ohk Lee⁺⁺, Jinsoo Park⁺⁺⁺ and SeLak Kim⁺⁺⁺⁺

Abstract : The cylinder cover stud of low-speed marine diesel engine is more than just a stud. It is a large structural element occasionally weighing over 200 kg used for assembling the combustion chamber components. Therefore, to understand the structural behavior of the stud and design it safely is quite important considering a catastrophic failure which can be arisen from an inadequate use of it. In this paper, the analysis results of the structural behavior of the stud is introduced. Strain measurement results compared with FE analysis results are summarized. The results showed that 1) the stud stress increased with engine operating load, 2) the maximum stress amplitude was about 10 MPa which is far smaller than the stud's fatigue strength of 61 MPa, 3) the stress ratio is higher than 0.9 and the stud's load factor is about 20 %, and 4) about 7 % of initial pressure tightening load was reduced while changing to a nut tightened condition.

Key words : ylinder cover stud (실린더 커버 스테드), Strain measurement (변형률 계측), Structural analysis (구조해석), Fatigue strength (피로강도), Stress ratio (응력비)

1. 서론

저속 박용 디젤 엔진의 실린더 커버 스테드(이하 스테드)는 최대 200 kg 이상인 대형의 구조 부품이며, 실린더 커버를 고정하여 엔진의 연소실을 형성하게 하는 중요한 역할을 하고 있다. 스테드는 기밀을 위해 부여되는 체결력과 실린더내 폭발하중을 견딜 수 있는 적절한 강도를 가지도록 요구된다. 때로 손상 사고가 발생하기도 하는 만큼 막대한 피해를 감안하면 구조 거동을 정확히 파악하여 안전한 설계를 하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 대형 상선의 주기관으로 사용되는 저속 디젤 엔진 실린더 커버 스테드의 구조거동과 강도적인 측면을 분석한 결과를 계측결과 위주로 정리하였다. 고사이클 피로강도를 검토하였고, 볼트 체결체에서 중요한 요소인 내외력비 등을 구하였으며 구조해석 결과와 비교하였다.

2. 실린더 커버 스테드

대형 디젤 엔진과 실린더 커버 스테드의 모습을 Fig. 1에 나타내었다. 스테드의 크기는 약 2,300*120 mm (길이*지름)이다. 스테드의 재질은 고강도강인 SNCM439이며 재료의 기계적 특성치를 Table 1에 정리하였다. 재료의 고사이클 피로시험 결과 피로한도는 인장강도의 약 절반 크기로 나타났다. 스테드의 한쪽 끝은 실린더 프레임에 가공된 탭홀에 고정되며 실린더당 8개의 스테드가 체결된다.

3. 응력계측 결과

3.1 체결응력

스테드를 체결하는 너트는 실린더 커버위에 놓이며 유압으로 체결된다. 따라서 스테드에 비틀림에 의한 전단응력은 유발되

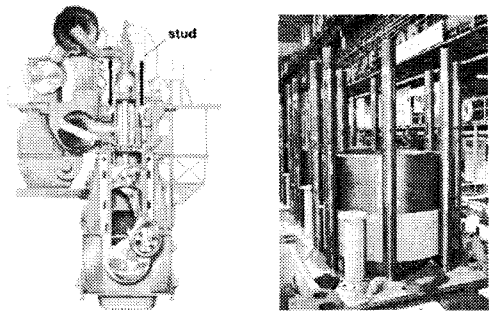


Fig. 1 Marine diesel engine and cylinder cover stud

Table 1 Mechanical properties of SNCM439

	Required	Test
Yield stress (MPa)	883	991
Tensile strength (MPa)	981	1,071
Elongation (%)	16	32
Hardness (HB)	293~352	
Fatigue limit (MPa)		486

지 않으며, 유압을 제거한 너트 체결 상태에서는 주변부와의 응력 재배치(elastic recovery)로 인해 유압으로 발생시킨 체결력이 조금 감소하게 된다.

계측결과 유압체결 상태에서 발생하는 평균 축응력은 324 MPa이고, 너트체결 상태에서 발생하는 평균 축응력은 302 MPa 이었다. 볼트마다의 응력의 차이는 거의 없었으며, 굽힘응력도 2~3 % 수준으로 거의 발생하지 않았다.

유압이 제거되며 너트체결로 바뀔 때 체결력은 약 7 % 감소

+ 현대중공업 선박해양연구소 구조연구실, E-mail: bjkim5@hhi.co.kr, Tel: 052)230-4720

++ 현대중공업 선박해양연구소 구조연구실

+++ 현대중공업 선박해양연구소 구조연구실

++++ 현대중공업 엔진기계사업본부 대형엔진설계부

하는 것으로 나타났다. 평균 축응력은 수계산값과 3 % 정도 차이를 보였는데 이는 탄성계수 사용의 차이로 여겨졌다.

3.2 엔진 운전때의 응력

엔진의 부하를 증가시키며 운전할 때의 발생응력을 계측하였다. 부하 조건은 25, 50, 75, 85, 100, 110 % 이며, 부하조건에 따라 엔진 회전수와 실린더내 연소압력이 변하게 된다. 동일 부하조건에서 시간 간격을 두고 2-3회 계측을 실시하였다. 동일조건에서의 계측신호를 비교한 결과, 시간에 따른 영향이 거의 없는 것으로 판단되었고 나중에 계측된 값을 사용하여 분석하였다.

엔진의 연소로 인한 하중조건이 동일하게 반복되므로 전체 응력의 최대값, 최소값, 변동폭을 사용하여 결과를 정리하였다. Fig. 2에 특정의 계측점에서 구한 부하의 변화에 따른 스트레인의 변화를 나타내었다. 규칙적인 신호와 부하의 증가와 함께 계측값과 주파수(rpm)가 증가함을 알 수 있다.

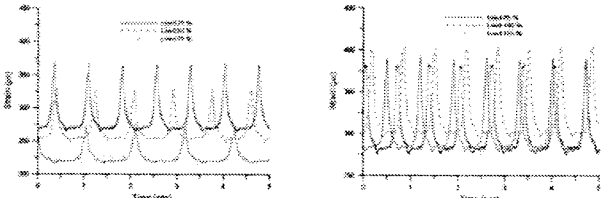


Fig. 2 Measured strains according to load conditions

100 % 정격 부하 상태에서 계측점별로의 스트레인의 변화를 Fig.3에 나타내었다. 다른 실린더에서 계측한 채널 9번과 11번의 신호가 다른 채널과 위상차이를 보임을 확인할 수 있다.

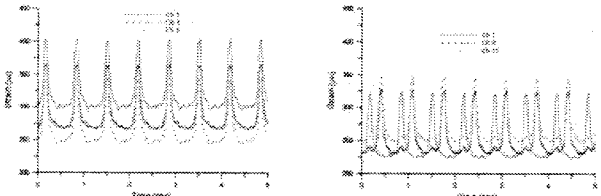


Fig. 3 Measured strains according to channels

Fig. 4에 부하별로 스트레인의 최대값과 최소값이 변하는 양상을 정리하였다. 100 % 상태까지는 부하의 증가와 함께 같이 증가하다가 110 %에서는 조금 감소하는 모습을 볼 수 있다.

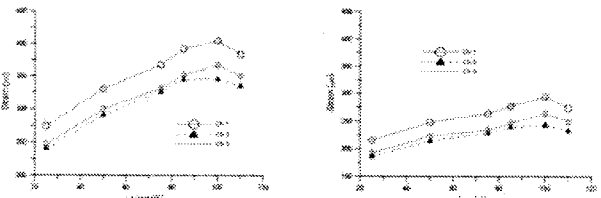


Fig. 4 Trends of maximum and minimum strains

Fig. 5에는 부하별로 스트레인의 변동 진폭이 변하는 양상을 정리하였다. Fig. 4에서의 결과와는 조금 다르게 85 % 부하 상태까지만 증가하고 그 이후에는 감소하는 경향을 나타낸다. 스트레인의 최대, 최소값은 각 채널마다 조금 차이가 있으나

(Fig. 4), 변동값은 거의 일정한 것을 볼 수 있다.

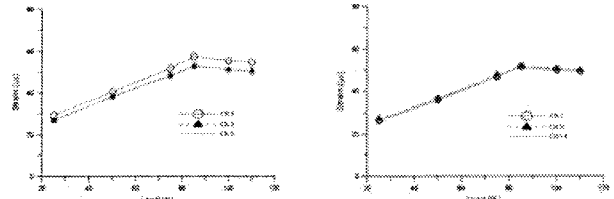


Fig. 5 Trends of strain amplitudes

계측에서 구한 최대 응력 진폭은 약 10 MPa로서 VDI2230^[1]에서 제시하고 있는 나사부의 피로강도 61 MPa보다 훨씬 작다. 따라서, 스테드의 피로강도는 충분한 것으로 판단된다. 연소실내의 압력하중은 전체중에서 일부분만 볼트 체결체로 전달되어 응력을 증가시킨다. 이를 나타내는 내외력비(load factor)를 구한 결과 크기는 20 % 정도이었다. 스테드의 응력비(stress ratio)는 동적계측에서의 평균응력을 고려하면 조금 증가하는데 응력비의 범위는 0.93-0.98로 나타났다.

실린더 커버를 포함한 스테드와 라이너 등에 대한 구조해석 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 스테드 체결, 온도 분포에 의한 열응력, 폭발 하중에 의한 변동 응력 등 엔진의 작동상태를 고려하여 해석을 실시하였다. 구조해석을 계측결과와 비교한 결과 발생응력과 스테드의 내외력비, 응력비 등이 모두 유사하게 구해짐을 확인하였다.

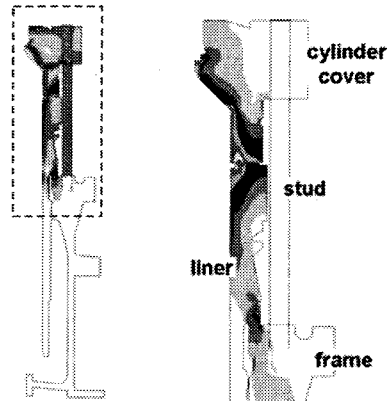


Fig. 6 Distribution of mean stress and stress amplitude

4. 결 론

신뢰성있는 설계를 위해 실시된 실린더 커버 스테드의 구조 거동 분석 결과를 응력계측을 중심으로 소개하였다. 볼트 응력은 엔진의 부하가 증가할수록 함께 증가하는 경향을 나타내었고, 엔진 운전시 변동응력값은 최대 약 10 MPa로서 볼트의 피로강도보다 훨씬 작았다. 볼트의 응력비는 0.9 이상으로 아주 높았고, 내외력비는 약 20 %이었다. 정적 체결상태에서 유압이 제거되고 너트체결로 바뀌면 약 7 %의 체결력이 경감되는 것을 확인하였다.

참고문헌

- [1] *Systematic Calculation of High Duty Bolted Joints. Joints with One Cylindrical Bolt*, VDI, VDI-Richtlinien, 2003.