

Rudder Torque 및 Force 실선 계측 Method

임정호^{1,†} · 박경락¹ · 옥유관¹
대우조선해양(주)

Full Scale Measurement Method for Rudder Torque & Force

Jong-Ho Lim^{1,†} · Kyung-Rak Park¹ · Yu-Kwan Ok¹
Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd.¹

Abstract

The full spade rudder for the high speed has advantage to prevent gap cavitation of the rudder. DSME has developed the full spade rudder and GL has carried out CFD analysis and FE analysis to confirm strength and fatigue for DSME and Owner. Necessarily, it needs to compare rudder torque & rudder force between CFD, FE analysis and full scale measurement. This report introduces the measurement method and application of strain gauge for measuring the rudder torque and rudder force for the 8,400 TEU container ship. ö

Keywords : Full scale measurement, Rudder force, Rudder torque, Full spade rudder, Strain gauge

1. 서론

Container 선과 같이 대형화 고속화 되는 선박에서 Rudder와 Rudder Horn사이의 Gap에 의해 발생하는 Cavitation으로 인해 Rudder 및 Rudder Horn에 심각한 손상을 유발시킨다. 이에 당사에서는 Fig. 1과 같이 Rudder 외판에 Gap이 존재하지 않는 DSME FSR(Full Spade Rudder)를 개발하여 4,400TEU에서 14,000TEU까지의 Container 선종에 적용하고 있다.

기존 FSR의 경우, 유럽업체에서 전량 수입하였고, 관련된 엔지니어링 정보 또한 유럽업체의 지적 재산권이었기 때문에 공개

되지 않았다. 따라서 당사에서 제작한 FSR를 적용 함에 있어 대 선주 신뢰성 향상을 위해 공인된 인증기관으로부터 Rudder 강도에 대한 검증이 필요하였다. 이에 GL(Germanischer Lloyd)에서 당사 Full Spade Rudder 도면에 대한 CFD 계산 및 FE Analysis를 수행하였고 이와 더불어 실선에 Strain Gauge를 설치하여 실제 계측치와 CFD에 의해 산출된 Rudder Torque 및 Force를 비교하여 FE Analysis의 검증작업을 수행 하였다.

본 보고서는 8,400 TEU Container선의 Rudder Torque 및 Force의 실선 계측을 수행하면서 당사에서 준비하였던 준비사항 및 Strain Gauge의 계측 원리에 대해 설명하도록 하겠다.

2. Strain Gauge 설치

실선의 Rudder Force 계측을 위하여 Rudder Skeg Bottom 부근 Rudder Trunk 내부에 선수, 선미, PORT, STBD 네 방향으로 Strain Gauge를 설치하였다. Rudder Skeg Bottom부분은 Rudder Force로 인해 굽힘 응력을 크게 받는 부분이고 이에 따른 전, 후, 좌, 우 방향으로 Rudder Trunk의 Strain을 계측 함으로 CFD에 의해 산출된 Rudder Force값과 비교 할 수 있다. Rudder Skeg Bottom을 중심으로 상부 및 하부에 각각 추가로 Strain Gauge를 설치하였다. Rudder Trunk내부는 Rudder Stock이 설치된 후 접근이 불가능하기 때문에 여분의 Strain Gauge를 설치함으로써 한 부분에 문제가 발생하더라도 나머지 부분으로 대체할 수 있도록 하였다. Fig. 2는 각 Level에서의 Strain Gauge 설치 위치를 나타낸다.



Fig. 1 DSME Full Spade Rudder

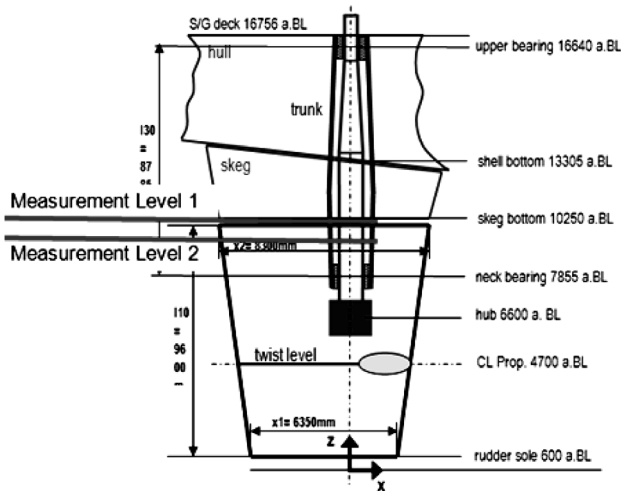


Fig. 2 각 Level에서의 Strain Gauge 설치 위치

Rudder Torque의 경우 Rudder Force에 의해 굽힘모멘트의 영향을 받지 않는 위치인 Steering Gear Tiller와 Rudder Carrier사이의 Rudder Stock 면에 Strain Gauge를 설치하여 비틀림 Strain을 계측한다. 계측 부위는 접근 가능하기 때문에 문제발생 예방을 위한 추가 Strain Gauge는 설치할 필요가 없다. Rudder Trunk 및 Rudder Stock의 탄성계수는 단조강 제작 업체에서 정확한 수치를 받아 응력 계산 시 사용한다.

3. Strain Gauge 구성

Rudder Trunk 및 Rudder Stock에 설치하는 Strain Gauge는 Wheatstone Bridge를 구성하여 설치한다. Wheatstone Bridge는 Strain에 따른 상대 전위차를 측정 하는 원리이기 때문에 온도와 같은 외부 조건에 따른 영향이 없다. Fig. 3은 Rudder Trunk 및 Rudder Stock에 적용한 Wheatstone Bridge 구성을 보여준다.

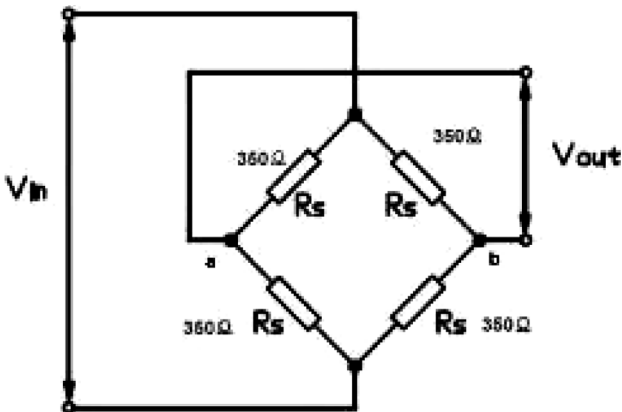


Fig. 3 Wheatstone Bridge 구성

Fig. 4, 5와 같이 Rudder Trunk는 인장/압축에 대한 Strain을 계측하도록 구성하였고 Rudder Stock은 비틀림에 대한 Strain을 계측하도록 구성하였다.

▪ Full Bridge (인장,수축)

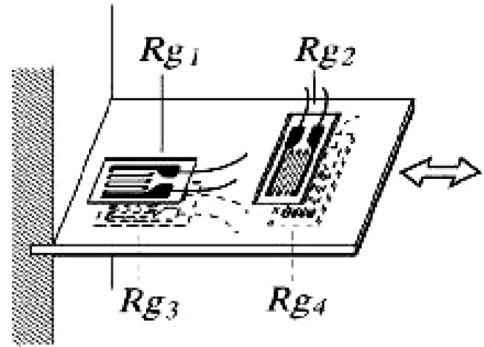


Fig. 4 Rudder Trunk Strain Gauge 설치 형상

▪ Full Bridge (비틀림)

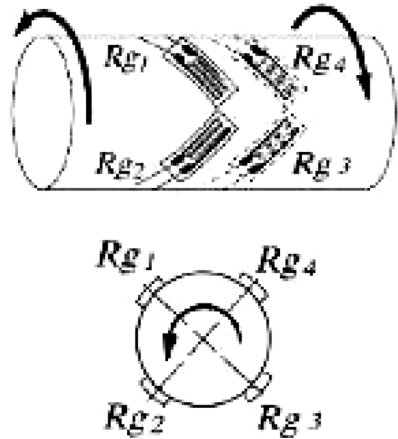


Fig. 5 Rudder Stock Strain Gauge 설치 형상

Strain Gauge를 Rudder Trunk 내에 설치한 후 Cable을 Switch-board로 연결하기 위해서 Rudder Trunk 내에 Half Pipe 및 추가 Vent Pipe를 설치하여 Cable을 Steering Gear Room으로 유도하였다. Half Pipe설치 시 Rudder Stock과 Pipe와의 접촉이 발생하지 않도록 주의하였다. Fig. 6, 7은 Rudder Trunk에 설치된 Half Pipe 및 Vent Pipe의 사진이다.



Fig. 6 Cable 유도를 위한 Half Pipe



Fig. 7 Cable 유도를 위한 Vent Pipe

4. Calibration

Strain Gauge 설치 후 미소 전위차에 대한 영점 조정 및 Gauge Factor 산출을 위하여 Calibration(교정)이 필요하다. Wheatstone Bridge 구성의 경우 Strain Gauge 사이에 Shunt 저항을 추가하여 Gauge Factor를 산출한다. Fig. 8의 경우 Rudder Trunk에 적용한 Shunt 저항 적용 예이다.

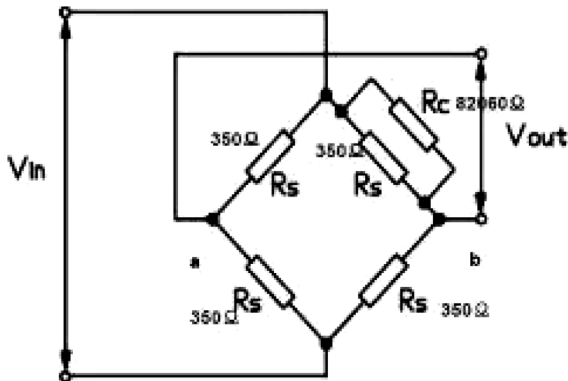


Fig. 8 장비 Calibration

Rudder Stock의 경우 원통 형상이기 때문에 쉽게 Shunt 저항에 해당되는 교정용 Rudder Torque를 쉽게 산출할 수 있다. 하지만 Rudder Trunk의 경우 모양이 복잡하고 선체와 연결되어 있기 때문에 일정한 힘을 가해 나온 전위차 값과 Shunt 저항에 의해 구해진 전위차 값을 비교하여 Gauge Factor를 조정함으로써 Strain을 산출한다. 초기계획은 Rudder 하부에 Lifting Lug를 설치하고 힘을 가하여 교정을 하는 Mechanical Calibration을 계획하였으나 Dock 사정에 의하여 시운전 시 유체력을 이용한 Hydrodynamic Calibration을 실시하였다. Hydrodynamic Calibration은 선박의 속도를 NCR로 유지하고 Rudder를 5도, 10도, 15도 PORT&STBD로 변경하고 일정시간 기다리면서 장비에서 검출된 Stress값과 CFD를 이용하여 본 조건에서 산출된 Stress를 비교하여 Rudder Trunk 내에 설치된 Strain Gauge의 정확한 Gauge Factor를 적용한다. Fig. 9는 Hydrodynamic Calibration때 적용하였던 Calibration 절차서이다.

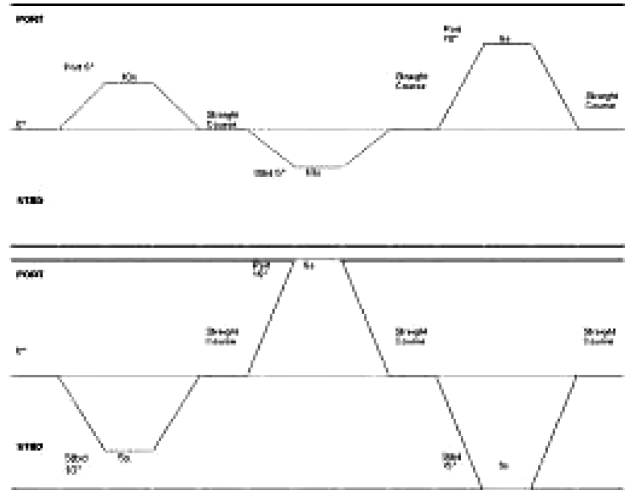


Fig. 9 Calibration Procedure

5. Load Measurement

장비 교정 후 각 시운전 조건 하에서 Rudder Torque 및 Rudder Force를 계측한다. Endurance Test는 MCR, NCR에서 각 4시간 수행하면서 선박의 직진운동 시 Rudder에 작용하는 Rudder Force를 계측한다. 이어 Z-maneuvering, Turning Test를 통하여 Rudder에 작용하는 Rudder Torque 및 Force를 NCR 조건에서 계측한다. 또한 S/Gear Test는 MCR 조건에서 수행하며 이때 Rudder의 최대 Torque 및 Force를 계측할 수 있다.

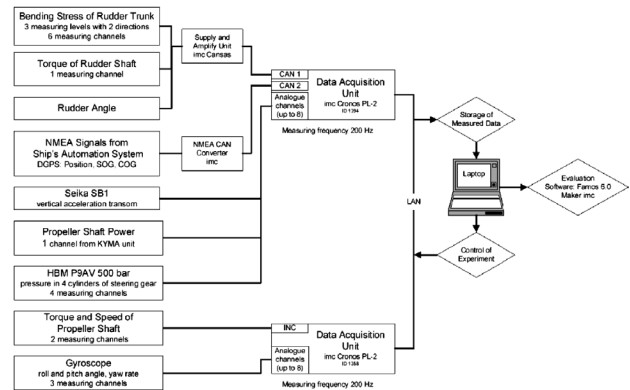


Fig. 10 Diagram of Date Acquisition

Fig. 10은 Strain Data 외에 실선계측에 필요한 정보가 어떻게 입력/저장 되는지 보여주는 Diagram이다. 실선계측을 위해 Rudder Torque, Rudder Force 외에 선박의 속도, 위치, 진행방향, Ship Log, Rate of Turn, Rudder Angle 등을 계측하는 NMEA 신호와 Shaft Power 및 RPM 및 Steering Gear의 각 실린더에서의 압력 또한 실시간으로 계측한다. 또한 파도에 의해 선박이 상하 좌우 운동을 하면 정확한 계측이 불가하기 때문에 Gyroscope를 설치하여 선박의 운동을 측정한다. 계측된 Data는 디지털 신호로 변환하고 Steering Gear Room 안의 Data Acquisition Unit에 저장된다. Fig. 11은 Data Acquisition Unit의 실제 형상이다.



Fig. 11 Data Acquisition Unit

6. Long Term Measurement

시운전 시 계측 후에 3년 동안 실제 운항을 하면서 Rudder에 가해지는 Rudder Torque 및 Rudder Force를 계측한다. 계측된 Data는 USB에 저장되며 6개월 단위로 GL본사에 보내어져 Long Term Measurement 분석을 위한 자료로 사용된다. Long Term Measurement를 통해 피로 파괴 해석 시 사용할 S-N Curve의 근거를 마련할 수 있다.

7. 결 과

본 보고서를 통해 GL과 공동으로 수행하였던 8,400 TEU Container선의 실선계측을 소개 하였으며 Load Measurement 결과를 통해 CFD 및 FE Analysis 결과와 실선 계측치가 근사함을 증명하였다. 이로써 당사에서 개발한 DSME FSR의 구조 강도적 안정성과 제품에 대한 선주 신뢰성을 확보하는 토대를 마련하였다.

참 고 문 헌

- Germanisher Lloyd, Dipl.-Ing. W. Menzel, 2009, Rudder Load Measurements during Sea Trials on DSME 8400 TEU Container Vessel, NB-EE 2009.069
- Germanisher Lloyd, Dr.-Ing. Ould el Moctar, 2007, Computation of Rudder Forces and Moments Acting on a DSME Twisted Rudder of an 8400 TEU Container Vessel, NEF 2007.310 A
- Germanisher Lloyd, Holger Mumm, 2008, Strength, Fatigue & Vibration Analysis for the Twisted Rudder of DSME 8400 TEU Container Vessel, NEF 2007.310 C
- Han-Eung, Bo-Seong, 1992, *Theory and Application of Strain Gauge*
- James M. Gere & Stephen P. Timoshenko, 1997, *Mechanics of Materials 4th Edition*



임 정 호



박 경 락



우 유 관