

스트레인 게이지를 이용한 선박용 추진 축계의 베어링 반력 측정에 관한 연구

김철우* · 이용진** · 조권희*** · 김의간†

(원고접수일 : 2007년 11월 2일, 심사완료일 : 2008년 1월 14일)

A Study on the Measurement and Analysis of Bearing Reaction Forces of Marine Propulsion Shafting System using Strain-Gauge

Chul-Woo Kim* · Yong-Jin Lee** · Kwon-Hae Cho*** · Ue-Kan Kim†

Abstract : Bearing damages by shaft misalignment have frequently been happened in marine ships. Specially, after stern tube bearing damage and failure for large crude oil carriers have been reported several times. However, the bearing reaction of the after stern tube bearing cannot be measured by jack-up test due to the hull structure condition. Therefore, when the jack-up test is used for the bearing reaction measurements, the bearing reaction for the after stern tube bearing obtained from the theoretical calculation method have to be used. In this paper, the shaft alignment on the large oil crude carrier is theoretically calculated and the differences between the calculated and actual installed bearing reaction values are compared. The bearing reactions for forward stern tube bearing and intermediate bearing are calculated by the simple formula using the strain gauge bending moments obtained from the measurements. Their reliability is confirmed by comparing the bearing reactions from jack-up test and the bearing reaction for after stern tube bearing is calculated by the same test. Also, the bearing reactions on the after stern tube bearing, forward stern tube bearing and intermediate shaft bearing under all operating conditions are calculated by using the bending moments obtained from the measurements and it is confirmed that the differences of the bearing reaction for all operating conditions are caused from hull deflection. The results of this study should prove useful for the future projects of the alignment calculation including the hull deflection effectiveness.

Key words : Bearing reaction force(베어링 반력), Hull deflection(선체 변형), Jack-up test(잭업 테스트), Shaft alignment(축 정렬), Strain gauge test(스트레인 게이지 테스트)

† 교신저자(한국해양대학교 공과대학 기계정보공학부), E-mail:nvh@hhu.ac.kr, Tel:(051)410-4361

* STX엔진(주)엔진기술연구소 엔진연구1팀

** ABS선급

*** 한국해양대학교 해사대학 기관시스템공학부

1. 서 론

선박에서의 축계배치 문제는 1950년대 후반부터 미국 해군에서 이론적으로 검토하게 되었고, 개개의 베어링에 대한 최적의 위치를 결정하는 축계배치 이론이 정립되기 시작하였다. 이후 점차 일반 선박으로 확대되었으며, 1960년대 후반부터 1970년대 초반에 걸쳐 활발한 연구가 전개되어 이론적 확립이 이루어졌다⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾.

최근의 축계 정렬은 선박과 축계가 대형화됨에 따라 조선소 및 선주, 선급 등의 주요 관심사항으로 대두되고 있다.

이러한 선박에 있어서의 축계 정렬 목적은 운전조건 하에서 축계에 의해 유발되는 베어링에서의 반력을 일정수준으로 유지시키는 것이다.

그러나 베어링에서의 반력은 종종 주기관과 축계와의 온도 차, 베어링 지지부의 불량, 선체변형, 축계 오정렬 등으로 인해 불안정한 상태가 되기 쉽고, 실제 베어링에는 적하 하중에 따른 선체변형에 의한 영향이나, 선박의 운항 시 정적인 상태에서는 나타나지 않던 축계의 동적 거동에 의한 반력 변화가 일어나며 이러한 변화는 축계 정렬에 많은 영향을 미치게 된다.

따라서 정확한 축계 정렬을 검토하기 위해서는 설계 단계에서 선박의 적하 하중에 따른 선체 변형, 운항에 따른 주기관의 열팽창 및 프로펠러 추력의 상하 편심에 의해 발생하는 굽힘 모멘트 등을 고려하여야 한다^{(5),(6)}. 이로 인해 주요 선급이나 조선소의 경우 열팽창에 의한 엔진의 변형이나 프로펠러 추력 모멘트에 의한 영향 등을 이미 설계 과정에 적용하여 좀 더 효과적인 설계를 수행하고 있다. 그러나 아직 적하 하중에 따른 선체 변형에 의한 축계 정렬 조건은 고려하지 않고 있으며, 이를 실선을 이용하여 다양한 선체 조건에서 베어링 반력 변화를 이론적 방법, 잭-업 테스트 그리고 스트레인 게이지⁽⁸⁾⁻⁽¹³⁾를 이용하여 계측, 계산하여 비교하고자 한다.

2. 베어링 반력의 이론적 해석 방법

현재 수행되고 있는 축계 배치의 과정은 크게 3단

계로 분류할 수 있다⁽⁵⁾.

첫째, 축계 배치 계산용 프로그램을 이용한 설계치의 설정

둘째, 설계치에 따른 축계 설치작업

셋째, 각 베어링에 적정 반력이 걸리도록 베어링 옵셋을 조정하는 수정 작업이다.

설계에서 수행되는 프로그램을 이용한 축계 배치 설계치 설정은 프로펠러의 부력 및 엔진의 상태(Cold - Hot)를 고려하여 이루어진다. 기준 설정에 있어 중요한 사항은 추력 베어링에서의 전단력 및 굽힘 모멘트 값이 엔진 제작사에서 제공하는 정적 하중 다이어그램(static load diagram, Fig. 1 참조)의 기준영역 안에 존재해야 한다는 것이다. 실제 기준 설정 절차는 다음과 같다.

1. 각 요소(프로펠러, 축, 베어링 등)에 대해 모델링을 한다.
2. 직선 상태(옵셋 없음)에 대한 축계의 반력을 계산한다.
3. 베어링은 추력 베어링에서의 굽힘 모멘트와 전단력 값이 정적 하중 다이어그램의 영역 내에 존재하도록 옵셋을 조정한다.
4. 적하 하중 및 엔진 변형 상태를 가정한 조건에 대해 (3)의 과정을 반복한다.
5. 각 베어링에 걸리는 면압을 계산한다.
6. Fig. 2와 같이 축계 설치를 위해 축의 프랜저 사이의 갭-색을 계산한다.

이러한 과정을 통해 계산된 갭-색을 기준으로 축계의 설치가 이루어진다. 그러나 일반적인 설계치 설정과정은 (1)의 과정에서 엔진 내부 크랭크 샤프트를 동일한 질량을 가지는 등가모델로 모델링함에 따른 오차와 (3)의 옵셋 적용 시 실제 옵셋이 발생함에도 불구하고 후부 및 전부 선미관 베어링의 옵셋을 항상 0으로 설정함에 따른 오차 등으로 인해 갭-색의 적용 후 적당한 반력을 얻지 못하는 경우가 종종 발생한다. 따라서 설치를 수행하는 현장에서는 베어링에 적당한 반력이 걸리도록 옵셋을 다시 조정하는 작업을 수행한다.

설계치 설정은 적하 하중에 따른 프로펠러의 부력 상태 및 엔진의 변형에 따른 옵셋의 변화만을 고려하고 있어 동적인 상태에서 축의 거동에 영향을 주

는 선체변형과 프로펠러 추력에 의한 굽힘 모멘트 등을 추가적으로 고려해야 한다.

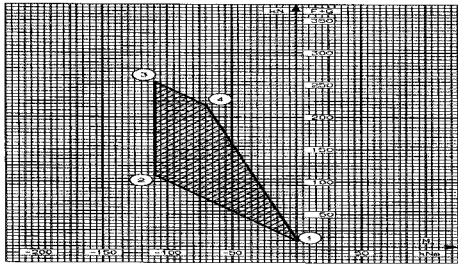


Fig. 1 Static load diagram provided by the engine maker

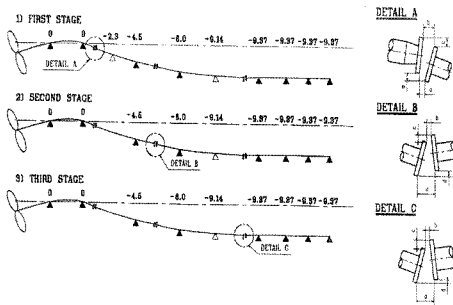


Fig. 2 Calculation by gap-sag

3. 베어링 반력 측정 방법

3.1 잭-업 테스트에 의한 베어링 반력 계측 방법

잭-업 테스트는 추진축계의 베어링 반력을 확인하기 위해 가장 일반적으로 이용되고 있다^{[13]-[16]}. 이 방법은 측정의 단순함 때문에 여러 산업분야에서 가장 광범위하게 사용되고 있으며, 측정하는 방법은 눈금이 되어있는 유압잭으로 축계를 각 베어링에서 차례로 들어 올려서 축이 베어링으로부터 떨어지는 순간에 상당하는 베어링 하중을 읽는다. 축을 단계적으로 들어 올리고 한편으로는 상하방향의 움직임을 다이얼 게이지를 읽어서 도표에 기입한다. 축이 베어링에서 떨어지는 순간 그려진 곡선은 경사가 급격한 변화를 일으킨다. 축을 하강시킬 때 비슷한 곡선을 그리게 된다. 베어링 하중은 이들을 평균하여 취한다.

아래의 Fig. 3은 실제 조선소에서 이루어지고 있는 잭-업법에 의한 베어링 반력 측정 모습으로 유압잭을 이용하여 축을 들어 올리면서 다이얼 게이지의 변위값 변화를 확인하여 Fig. 4의 하중 계측 선도를 작도한다^[5].

Fig. 5는 중간축 베어링에서의 베어링 반력 측정을 위해 축의 하부에 유압잭을 설치하고 상부에는 다이얼 게이지를 설치한 모습이다.

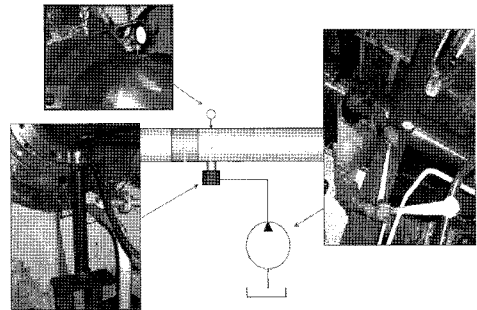


Fig. 3 Measurement of bearing load by jack up method

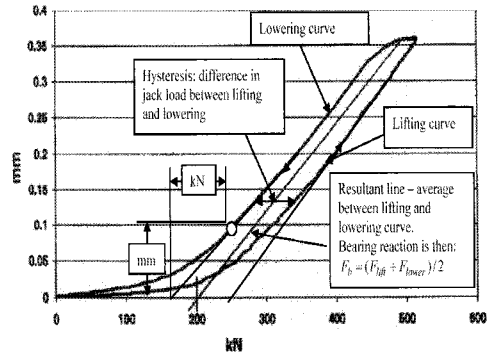


Fig. 4 Result of jack up measurement

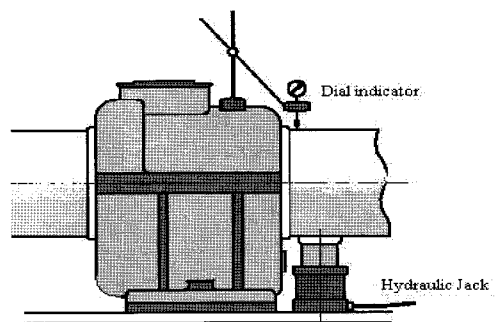


Fig. 5 Bearing load measurement at intermediate shaft bearing

3.2 스트레인 게이지를 이용한 베어링 반력 계산 방법¹⁷⁾

스트레인 게이지 자체는 보통 어떤 전기저항으로 이루어져 있는데 이것이 물체의 표면에 완전히 접촉된 후 그 물체가 응력 상태 하에 놓이게 되면 변형이 생기게 되고, 이 변형만큼 스트레인 게이지의 변형이 일어나게 되어 그 내부의 저항값이 변하게 된다. 이제 이 게이지들을 적당한 전기회로로 구성하여 회로의 입력부분에 일정한 전압을 걸어 놓으면 회로 내의 게이지 저항값이 변화할 때 회로 출력부분의 전압이 변화하게 되는데, 이 변화하는 전압이 바로 물체의 변형에 비례하는 값이다.

본 연구에서는 추력의 영향을 없애고 1 게이지에 비해 신호 증폭 효과가 있으며 온도 보상을 할 필요가 없는 4 게이지법을 사용하였다.

축의 모멘트를 측정하기 위해서는 축을 360°만큼 회전시켜야 하고, 이때 발생된 축의 굽힘 모멘트를 스트레인 게이지로 계측하여 반력 계산에 이용하고자 한다.

3.2.1 베어링 반력 계산식의 유도

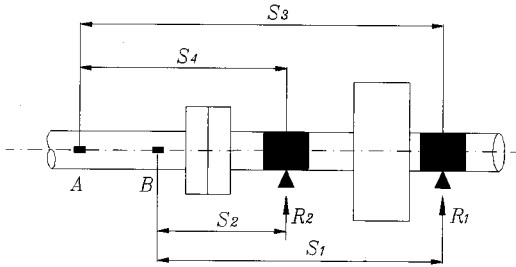


Fig. 6 Schematic diagram of bearing reaction force

Fig. 6에서 보는 바와 같이 반력 R_1, R_2 를 구하기 위해 스트레인 게이지 A, B를 부착하고 각 게이지로부터 각 베어링까지의 거리를 S_1, S_2, S_3, S_4 라 한다. A, B 점에서 계측된 굽힘 모멘트를 각각 M_A, M_B , 축 및 기어의 중량에 의한 모멘트를 각각 $\overline{M_A}, \overline{M_B}$ 라 하면 A, B점에서의 모멘트 평형 방정식은 식(1), 식(2)와 같이 된다. (편의상 shaft를 L로 굽히는 모멘트를 +로 한다)

$$A: M_A = R_1 \cdot S_1 + R_2 \cdot S_2 + \overline{M_A} \quad (1)$$

$$B: M_B = R_1 \cdot S_3 + R_2 \cdot S_4 + \overline{M_B} \quad (2)$$

식(1), 식(2)를 R_1, R_2 에 대하여 정리하면

$$R_1 = \frac{(M_A - \overline{M_A})S_4 - (M_B - \overline{M_B})S_2}{S_1S_4 - S_2S_3} \quad (3)$$

$$R_2 = \frac{(M_B - \overline{M_B})S_1 - (M_A - \overline{M_A})S_3}{S_1S_4 - S_2S_3} \quad (4)$$

즉, 식(3), (4)로부터 M_A, M_B 를 계측하고 $\overline{M_A}, \overline{M_B}$ 를 계산하면 R_1, R_2 가 구해진다.

3.2.2 선미관 베어링의 반력

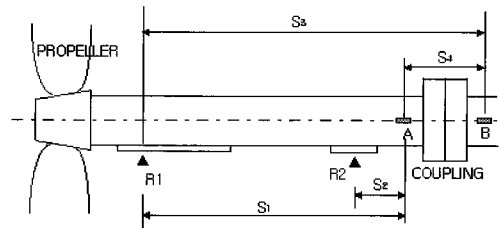


Fig. 7 Schematic diagram of aft. stern tube bearing

각 점간의 거리 S_1, S_2, S_3, S_4 와 반력 R_1, R_2 를 Fig. 7과 같이 잡았다면 R_1, R_2 는 식(3), 식(4)를 이용하여 구할 수 있다.

3.2.3 중간축 베어링의 반력

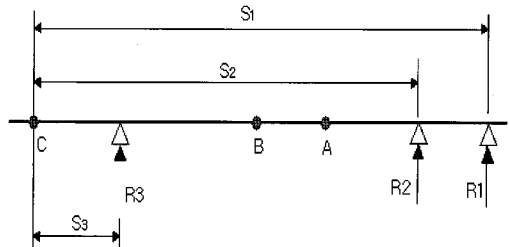


Fig. 8 Schematic diagram of inter. shaft bearing

Fig. 8과 같이 세 점 A, B, C에서 굽힘 모멘트를 계측하고 식(3), 식(4)의 방법으로 R_1, R_2 를 구했다고 하면 각 점간의 거리를 S_1, S_2, S_3 라 정하고

C점에 대해 모멘트 평형 방정식을 세운다. 즉,

$$M_c = R_1 \cdot S_1 + R_2 \cdot S_2 + R_3 \cdot S_3 + \overline{M_c} \quad (5)$$

여기서 $\overline{M_c}$ 는 C점에 작용하는 축선 자중에 의한 굽힘 모멘트이며 (5)식 으로부터 중간축 베어링의 반력 R_3 은

$$R_3 = \frac{1}{S_3} (M_c - \overline{M_c} - R_1 \cdot S_1 - R_2 \cdot S_2) \quad (6)$$

로 구해진다.

4. 실선축계의 베어링 반력 이론 해석과 측정치의 비교

본장에서는 실선의 추진축계의 축계 정렬 배치 이론해석 결과와 잭-업 테스트 및 스트레인 게이지를 이용한 베어링 반력 측정결과를 비교 검토하고자 한다. Table. 1은 본 연구에 이용된 실선의 주요 사양이며, Fig. 9는 스트레인 게이지를 이용하여 굽힘모멘트를 측정하기 위한 준비 작업으로 먼저 선수측 스트레인 게이지를 SG #1, 선미측 스트레인 게이지를 SG #5로 하여 총 5부분에 축의 상하 방향으로 설치하였으며, Fig. 10은 휘트스톤 브릿지 형식으로 설치된 스트레인 게이지의 모습과 연결 모습을 나타낸다.

Table 1 Specification of the shafting system

Vessel type	320,000 DWT VLCC
Diesel engine	MAN B&W 6S90MC-C
	MCR 40,000 BHP @ 76 rpm
	Journal diameter : 840 [mm] / 150 [mm]
Propeller	Crankpin diameter : 840 [mm]
	4 blade fixed pitch
	Diameter : 9900 [mm]
	Material : Ni-Al-Bronze
	Mass in air : 74,958 [kg]
Flywheel	Cap mass : 820 [kg]
	Mass : 5230 [kg]
	Number of teeth : 80

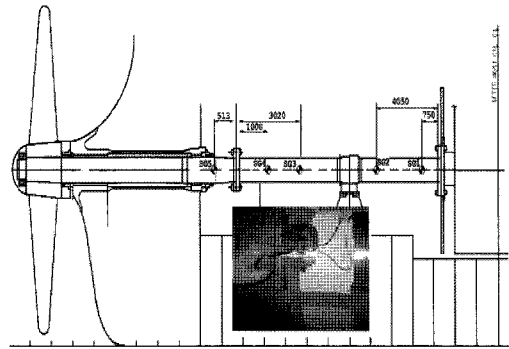


Fig. 9 Schematic of the strain gauge location

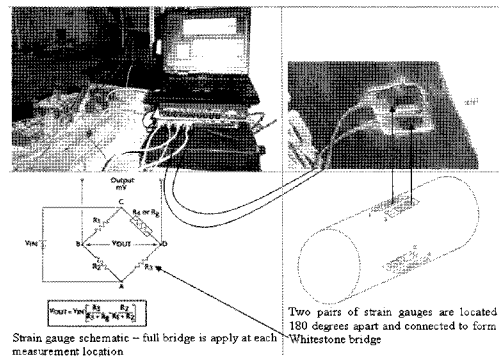


Fig. 10 Strain gauge fitting and connection

4.1 이론에 의한 축계 베어링 반력 해석

선박의 하중조건을 고려한 추진축계의 베어링 반력의 이론적 해석은 아직까지 한계가 있다. 다만 축계의 정적상태에서 엔진의 온도에 따른 축 배치는 해석이 가능하다. 여기서는 이를 고려한 축계의 베어링 반력을 해석하고 고찰한다.

Fig. 11~12는 2장에서 기술한 이론적 해석법으로 축계의 베어링 반력을 해석한 결과이다. 이를 검토하여 보면 엔진의 정지 상태에서는 M/E #1베어링의 하중이 거의 걸리지 않지만 엔진이 뜨거워지는 경우에는 열팽창에 의한 메인 엔진의 움셋 변화로 인하여 베어링 하중이 적절하게 변화하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 축 배치의 목적은 선박의 운항 중 축계 베어링에 적절한 하중이 걸리도록 하는 것이기 때문에 메인 엔진 정지 시에는 M/E #1 베어링의 하중을 작게 걸리도록 배치한다. 이는 운항 중 메인엔진의 온도가 상승하면 Fig. 12 와 같이 열팽

창에 의해 M/E #1 베어링 양쪽의 중간 축 베어링과 M/E #2 베어링의 반력에 영향을 주어 베어링 하중이 적절히 분배되는 것을 알 수 있다.

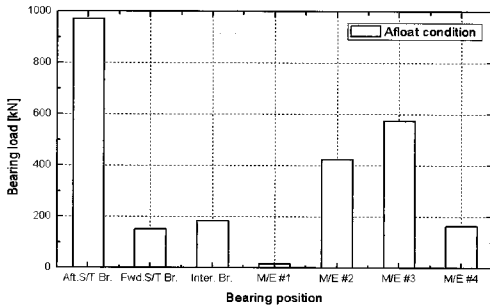


Fig. 11 Calculation of afloat condition

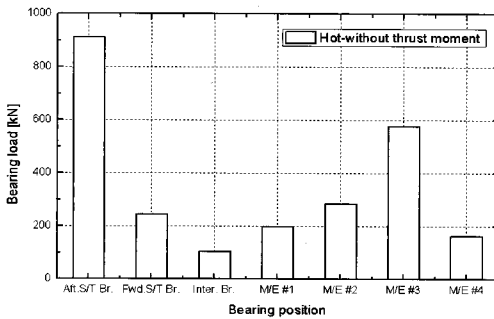


Fig. 12 Calculation of hot condition-without propeller thrust moment

4.2 축계 베어링 반력 측정 조건

추진 축계의 조건 변화에 따른 베어링 반력을 측정하기 위하여 스트레인 게이지를 이용한 모멘트 및 잭-업에 의한 베어링 반력을 측정하였다. 측정은 선박의 운항 상태에 따라 축계의 베어링 반력이 어떻게 변하는지 파악하기 위해 베어링 조정 전후, 엔진의 온도 그리고 APT(After Peak Tank)의 적재 차이 등에 따라 수행하였다.

4.3 측정에 의한 축계 베어링 반력 고찰

Fig. 13은 전부 선미관 베어링에서 스트레인 게이지와 잭-업 테스트를 이용해 측정한 결과이다. 이를 검토해 보면 두 값 사이에 차이가 있으나 일반적으로 축계 배치에 문제가 될 정도는 아니다. 그리고 밸러스트, 적하 조건 모두 APT의 조건 변화에 따

라 베어링의 반력에 미치는 영향이 크다는 것을 확인할 수 있다. Fig. 14는 중간축 베어링에서의 스트레인 게이지와 잭-업을 이용해 측정한 베어링 반력이다.

이들 결과를 종합적으로 검토하여 보면 스트레인 게이지를 이용해 베어링 반력을 측정한 결과는 기존의 잭-업에 의한 결과와 실용상 문제는 없지만 스트레인 게이지에 의한 값이 잭-업에 의한 값보다 약간 큰 것을 알 수 있다. 이 차이는 APT에 따른 밸러스트 조건보다 적하 조건에서 약간의 차이가 증가하였다. 한 척의 축계에서 측정한 결과만으로 어느 방법이 더 신뢰성이 있는지 판단하기는 어려우나 양쪽 다 불확실성을 갖고 있으므로 이 정도의 차이는 축계 배치에서 고려해야 할 것으로 생각된다. 다만 스트레인 게이지법은 축계배치에서 중요한 부분을 차지하는 후부 선미관 베어링의 하중을 예측할 수 있는 장점이 있다.

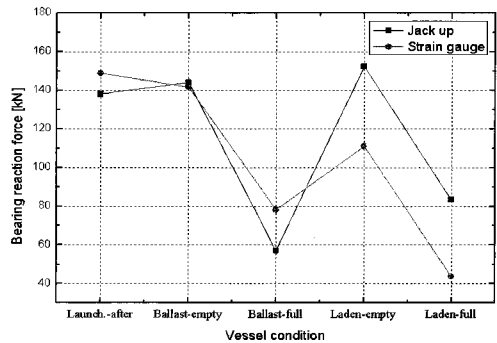


Fig. 13 Bearing load for each condition - fwd. stern tube bearing

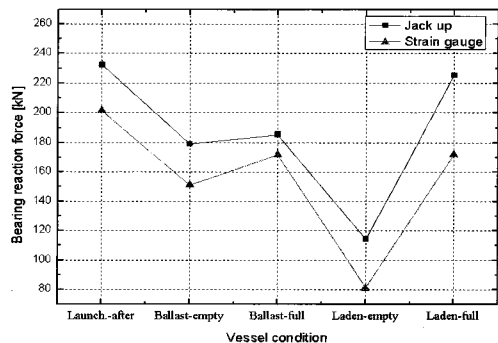


Fig. 14 Bearing load for each condition intermediate shaft bearing

4.4 축계 베어링 반력의 해석치 및 측정치의 비교

현재의 축계 배치 해석은 다양한 변수의 활용을 통하여 실제 선박에서의 축계의 변화를 미리 예측하여 운전 중 어떤 상태에서도 적당한 베어링 반력을 갖도록 하는 데 목적이 있다. 이를 위해 선체가 갖는 운항 조건에 대하여 해석을 행하고 검토하여야 한다. 그러나 이론적 해석법에는 한계가 있으므로 측정된 베어링 반력에 대해 모두 이론적 해석결과와 비교하기에는 무리가 따른다.

따라서 여기서는 해석과 측정의 비교가 가능한 선박의 축계상태만을 대상으로 하여 검토하였다. 이에 해당하는 축계 조건은 베어링 읍셋 조절이 끝나고 진수 전 상태에 있는 플로팅 조건과 밸러스트 APT-empty 조건이다.

Fig. 15는 플로팅 조건에서 스트레인 게이지를 이용해 측정된 베어링 반력과 이론해석으로 구한 베어링 반력을 비교한 결과이며, Fig. 16은 밸러스트 APT-empty 조건에서 비교한 결과이다. 이들 결과를 검토하여 보면 스트레인 게이지를 이용한 베어링 반력과 이론적 해석에 의한 베어링 반력은 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 이는 정적인 상태에서 축계 배치 해석은 신뢰성이 있음을 의미한다고 하겠다. 다만 선박의 적하상태에 따른 선체 변형을 고려한 축계 배치 및 동적 상태에서의 베어링 반력 해석에는 추후 지속적인 연구가 필요하다고 생각된다.

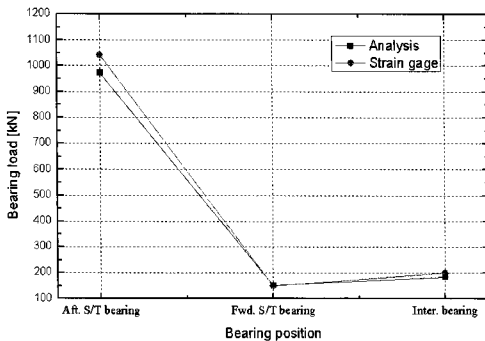


Fig. 15 Measured and calculated bearing reaction force for afloat condition

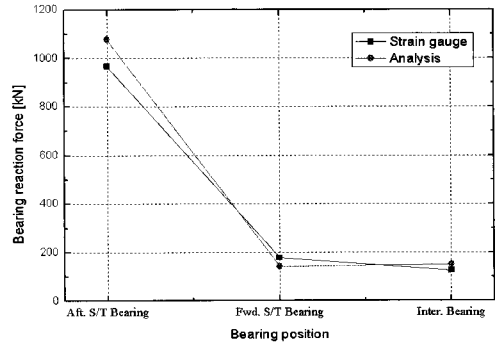


Fig. 16 Measured and calculated bearing reaction force for Hot-without propeller thrust moment

5. 결 론

추진축계 배치의 해석 목적은 선박의 적재하중에 따라 선체가 변형하거나 운전조건이 바뀌어도 축계의 베어링 반력을 적절한 값 이내가 되도록 하는 것이다. 그러나 현재 축계 배치 해석에서 열팽창에 의한 메인 엔진의 변형이나 프로펠러 추력모멘트에 의한 영향 등은 반영하고 있으나 선박의 적하하중 변화에 따른 고려는 효율적 방법을 검토하고 있는 단계에 있다. 이에 대한 방안으로 선박의 선형과 적하하중에 따른 선체 변형량을 데이터화하여 이를 축계 배치 해석에 반영하는 방법을 생각할 수 있다. 본 연구에서는 선박의 적하하중 및 운전조건에 따른 베어링 반력을 스트레인 게이지로 측정하고 이를 책-업법에 의한 결과와 비교하고 선박의 적재상태에 따른 베어링 반력을 검토하였다. 또한, 축계 배치의 이론적 해석을 검토하고 이를 실제선박에 적용하여 스트레인 게이지법으로 구한 베어링반력과 비교하였다. 이상의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 축계 배치의 이론적 해석방법을 검토하고 이를 실선 축계에 적용, 해석하여 측정 결과와 비교한 결과 해석법의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 다만 선체 변형과 축계의 동적 거동이 축계 배치에 미치는 영향을 고려한 해석이 요망된다.
- 2) 스트레인 게이지법이 선체의 조건 변화와 축계 배치에서 중요한 부분을 차지하는 후부 선미관의 베어링 반력을 측정할 수 있어 책-업법보다 유용하게 이용될 수 있음을 알 수 있었다.

3) 스트레인 게이지를 이용하여 축계의 굽힘모멘트를 측정하고 이로부터 베어링 반력을 구하는 해석법을 검토하였으며, 이를 실제 선박의 축계에 적용하여 베어링 반력을 구하고 이를 잭-업법으로 측정한 베어링 반력과 비교하였다.

4) 스트레인 게이지법과 잭-업법으로 측정한 실제 선박 추진축계의 베어링 반력은 약간 차이가 있었으나 실용상 문제가 될 정도는 아니었다. 다만 축계 배치를 시행할 때 이를 고려할 필요가 있으며 추후 다른 선박의 측정결과도 비교하여 양자의 차이를 정량화할 필요가 있다.

5) 본 연구에 이용된 오일 탱커의 경우 선체 조건 변화에 따른 베어링 반력 변화가 크지 않음을 확인하였다. 이는 본선의 경우 축계 배치가 적절히 이루어졌음을 반증한다고 판단된다.

참고문헌

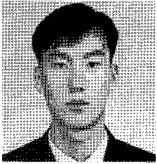
- [1] Kosib R. E. and Francis J. J. and Woolacott RA., New England Section, SNAME, 1959/1
- [2] Antkowiak E. T., Development Report R-11, Boston Naval Shipyard, 1957/10.
- [3] Anderson H. C. and Zrodowski J. J., Trans. SNAME, Vol.67, 1959, P.449.
- [4] Michell R., Naval Engineers Journal, 1959/2 P.153.
- [5] American Bureau of Shipping, "Guidance Notes on Propulsion Shafting Alignment", April 2004
- [6] Holger Mumm, "The Need for More Considered Design Approach to Engine-Hull Interaction" Germanisher Lloyd.
- [7] H. J. Jeon, "Ship Propulsion Transmission Equipment" 1986, Taehwa Publishing Company
- [8] M. N. Keshava Rao and M. V. Dharaneepathy, Computer-Aided Alignment of Ship Propulsion Shafts by Strain Gage Methods", Marine Technology, Vol. 28. No. 2. March 1991, pp. 84-90
- [9] Grant. R. B, "Shaft Alignment Methods with Strain Gages and Load Cells", Marine Technology, Vol. 17, No.1, January 1980, pp. 8-15
- [10] Perry C.C. and Lissner, H.R, "The Strain Gauge Primer, McGraw-Hill, New York, 1962.
- [11] Forrest, A. W. and Labasky, R.F., "Shaft Alignment Using Strain Gages", Marine Technology, Vol. 18. No.3.July 1981, pp. 276-284
- [12] K. S. Kim, W. S. Jang, "A Study on Shaft Alignment of the Rotating Machinery by Using Strain Gages", Journal of the Korean Society of Precision Engineering Marine Technology, Vol. 18. No.5. May 2002.
- [13] 전효중, 선박동력전달장치, 태화출판사, 1986.
- [14] Det noske Veritas, Shaft Alignment Calculation User's Manual, NV 5060, 1981/5, p.260
- [15] 문덕홍, 전효중, 삼연모멘트정리의 계산에 의한 박용추진축계배치 계산에 관한 연구, 한국박용기관학회지, 第5卷 第1號, 1981/8, p20-27.
- [16] 전효중·박진길·최재성, 한국박용기관학회지, 第2卷 第1號, 1978/8, p.3.
- [17] S.S. Na, I.C. Kim, K.S. Kim, T.Y. Kim, 한국공작기계학회, 99년도 축계학술대회 논문집 pp.63-68.

저 자 소 개



김철우(金哲佑)

1976년 7월생. 2004년 한국해양대학교 기계공학과 졸업(공학사). 2006년 한국해양대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 2004.7~현재 STX엔진(주) 근무.



이용진(李容鎭)

1971. 5. 9 생
1998. 2 기관공학과 석사 후
2006. 8 기계공학과 박사 후
現 ABS 휴스턴 미국본사 근무



조권회(趙權回)

1979. 2. 한국해양대학교 기관시스템공학부 졸업, 1979-1996. 리스코해운, 현 대상선 기관장, 조선감독, 1999. 2. 부경대학교 제어기계공학과(공학석사), 2001. 2. 부경대학교 제어기계공학과 박사과정 수료, 2007. 3 현재 한국해양대학교 기관시스템공학부 부교수



김의간(金義玠)

1956년 3월생, 1978년 한국해양대학교 기관학과졸업, 1988년 동경대학교 대학원 졸업(공학박사), 현재 한국해양대학교 기계정보학 교수