
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 32 卷 第 2 號 1995 年 5 月
 Transactions of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 32, No. 2, May 1995

73,000톤 산적화물선의 선체거더 종진동 현상분석

배종국*, 정균양*

A Study on the Longitudinal Hull Girder Vibration of a 73,000 Deadweight Bulk Carrier

by

Jong-Gug Bae* and Kyoon-Yang Chung*

요 약

선체거더의 종진동 현상은 60년대에 이미 조사된 바 있으나 기존 선박들에서는 종방향 기진력이 작았기 때문에 선체 종진동 현상이 거의 나타나지 않았다. 그러나 80년대 중반이후의 대형 저속디젤 엔진 추진선에서는 추진축계 비틀 공진점에서 연성되어 작용하는 축계 종방향 기진력에 의하여 선체 전체의 종진동이 유발될 수도 있다.

본 연구에서는 73,000톤 산적화물선에서 감지된 선체 거더의 종진동 현상을 실선계측 및 해상기진기 실험 그리고 유한요소 해석방법으로 분석하였다. 분석결과 이러한 선체 종진동 현상은 over-critical 축계 시스템을 갖춘 선박에서만 축계 종방향 기진력에 의해 나타날 수가 있으며 그 중에서도 주기관의 연속 사용금지구역(barred range)이 설정되지 않은 선박의 경우엔 하중조건에 따라 저속 입출항 운항시 선루를 포함한 선체에 심한 종진동이 발생될 수 있음이 판명되었다.

Abstract

Longitudinal hull girder vibration has not been occurred severely since 1960's. However, recent low speed diesel driven ships equipped with overcritical shafting system, can be excited heavily in longitudinal direction by shaft axial force coupled with torsional vibration.

In this study the characteristics of longitudinal hull girder vibration of a 73,000 deadweight bulk carrier were investigated through onboard measurement, exciter test, and 3-D FEM analysis.

Results showed that the longitudinal hullgirder vibration may occur in the ship which is not set up the barred speed range in engine operation. Moreover, this vibration occurs only during the low speed voyage in harbour depending upon the ship loading condition.

발 표 : 1994년도 대한조선학회 춘계연구발표회('94. 4. 22)

접수일자 : 1994년 12월 5일, 재접수일자: 1995년 3월 6일

* 정회원, 현대중공업(주) 선박해양연구소

1. 서론

선체거더의 종진동 현상에 대한 연구로는 1960년 Watanabe 약산식 및 Kadota [1]의 계측에 의한 확인 후로는 현재까지 발표된 결과가 거의 없었다. 이는 1980년대 이전에 건조된 기존 선박에서는 낮은 주파수에서 선체에 작용하는 종방향 기진력이 작아서 선체의 종진동 현상이 나타나지 않았기 때문이다. 그러나 1980년대 중반이후 대형저속 디젤 엔진을 탑재한 선박들은 NCR(상용 회전수)이나 MCR(최대연속 회전수) 근처에서 과도한 진동을 피하기 위한 방진설계로서 추진축계 비틀진동 공진점을 MCR의 65%이하로 낮춘 overcritical 축계 시스템을 채택하고 있다. 따라서 축계 비틀진동 공진점에서 비틀진동과 연성되어 나타나는 축계 종방향 기진력은 그 크기 및 가진 주파수에 따라 선체거더의 종진동을 유발할 수도 있다.

본 연구에서는 73,000톤 산적 화물선에서 감지된 선체 거더의 종방향 진동에 대하여 실선계측 및 해상 기진기 실험 그리고 유한요소해석 방법으로 그 원인을 분석하였다. 또한 이러한 선체 종진동 현상이 발생하는 경우를 세밀히 조사하여 차후 방진설계시에 반영할 수 있도록 하였다.

2. 진동계측과 진동해석

2.1 진동계측

73,000톤 산적 화물선의 시운전시 감지된 선체거더 종진동 모드[2]를 조사하기 위해서 동형선 두척에서 선체 종방향 위주의 진동계측을 수행하였다. 진동계측시 선루, 주기관, 연돌과 상갑판에 일정한 간격으로 가속도계를 종방향으로 설치하고 진동이 발생된 rpm 주위를 1 rpm 간격으로 증가하면서 계측하였으며 축계 비틀진동과의 공진관계를 조사하기 위해 추진축계의 중간축에서 비틀진동도 계측하였다. Fig. 1은 위치 별로 계측된 진동값 및 모드를 보여주고 있다. 계측된 진동값을 보면 선루, 연돌, 주기관을 포함한 선미부의 진동값은 거의 같은 수준이나 절점에 가까운 중앙부 상갑판에서 계측된 진동값은 현저히 작게 나타나고 선수상갑판에서는 다시 진동값이 커지는 전형적인 선체거더 종방향 1절 모드의 형태를 나타내고 있다. 이렇게 계측된 종방향 고유진동수는 247.5 cpm으로 계측된 축계 비틀진동의 고유진동수와 완전히 일치하였다.

한편 60년대에 Watanabe에 의해 제시된 다음 약산식

$$N_{Ln} = 30nC_n \sqrt{\frac{gEA_x}{\Delta L}} \text{ cpm, } n=1, 2, \dots$$

- g : 중력가속도 (9.8 m/sec²)
- E : 탄성계수 (2.1 × 10¹⁰ kg/m²)
- A_x : 중앙단면에서의 종통부재 단면적 (m²)
- L : 선박의 길이 (m)
- Δ : 배수량 (kg)
- C_n : C₁ = 1 (1 절), C₂ = 0.87 (2 절)

으로 계산하면 1절 및 2절 고유진동수는 각각 244 및 425 cpm이 되며 1절 고유진동수는 실측값과 거의 같은 값을 보여주고 있다.

2.2 진동해석

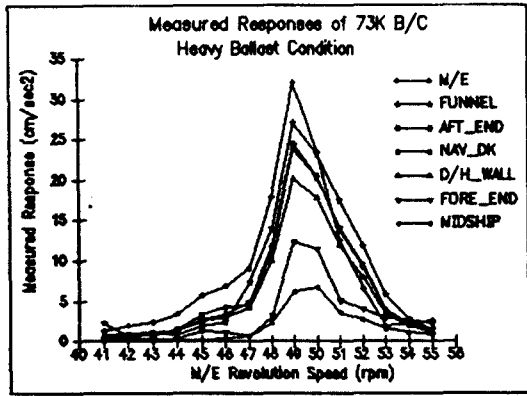
진동계측에서 발견된 선체거더 종방향모드를 진동해석에 의해 조사하고자 3차원 유한요소 모델[3]을 사용하여 해석을 수행하였다. 고유진동해석에는 구조해석 프로그램인 MSC/NASTRAN 을 사용하였고 주파수 응답함수를 구하기 위하여 모드중첩법을 사용하였다. 또한 부가수 질량 계산에는 경계요소 적분 방법을 도입한 MSC/NASTRAN의 virtual mass method를 이용하였다. Table 1은 해석의 정확도를 조사하기 위해 해석과 실험에서 구해진 고유진동수를 비교한 결과이다.

Table 1 Comparison of natural frequencies obtained by FEM analysis and measurement

(단위: cpm)

진동모드	해석결과	계측결과
상하 2절	41.27	41.3
상하 3절	89.8	90.5
상하 4절	127.7	134
상하 5절	170.1	169.2
종방향 1절	270	247.5

선체상하 저차진동은 계측과 해석이 비교적 잘 일치하고 있으나 선체거더 종방향 1절 모드는 약간의 차이를 보여 주고 있다. Fig. 2는 해석에서 구한 선체 거더 종방향 1절 모드를 나타내고 있는데 중앙부에서 절점을 갖는 모드로서 시운전시 계측된 결과 Fig. 1(b)와 거의 일치하고 있다. Fig. 3은 가진점이 추력 블럭인 경우의 주파수 응답함수를 보여주고 Fig. 4는 49 rpm에서 peak가 나타나는 계산된 추력변동력을 추력블럭에 가했을때의 진동응답의 크기를 보여주고 있다.

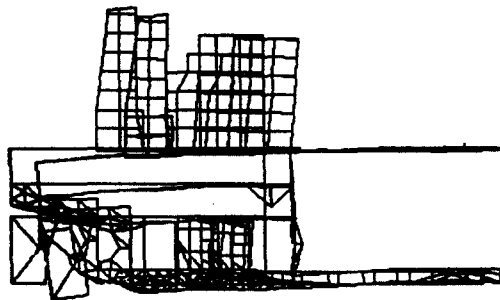


(a) Measured response



(b) Measured mode shape

Fig.1 Measurement result during sea trial



(a) Enlarged mode shape

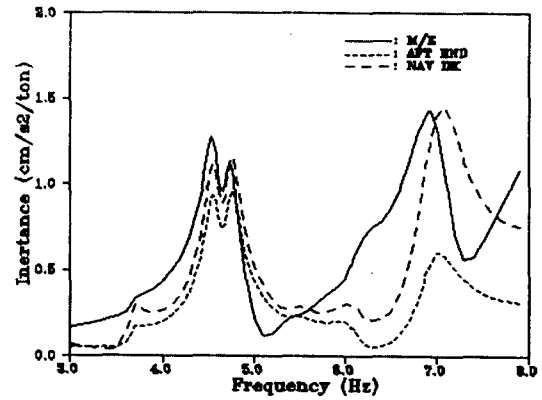


(b) Mode shape of full model

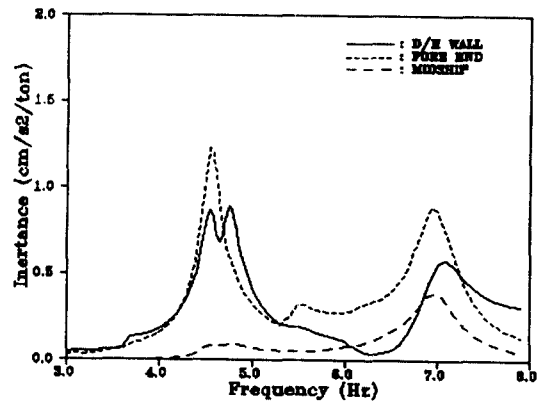
Fig.2 The first mode of hull girder longitudinal vibration obtained by FEM analysis

2.3 진동계측과 진동해석 결과의 검토

진동계측 결과에는 축계 비틀진동 고유진동수인 247.5 cpm에서 공진한 선체거더 종방향 1절 모드가 뚜렷이 나타나고 있다. 그러나 해석결과는 계산된 종방향 모드 주파수(270 cpm)가 축계 비틀진동 고유진



(a) At M/E, Aft End, Nav. Deck



(b) At D/H Wall front, Fore End, Midship

Fig.3 Frequency response function obtained by FEM analysis with the excitation of thrust block

동수(247.5 cpm)과 일치하지 않기 때문에 주파수 응답함수에서는 뚜렷한 진동응답이 나타나지만 247.5 cpm에서 peak를 갖는 추력변동력을 추력블럭에 가했을때의 진동응답은 Fig. 4(b)에서 보는 것처럼 선체 종방향 진동이 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서 해석에서는 선체 종방향모드는 존재하지만 그 응답은 크지 않아 선체거더 종방향 1절 모드에 의한 심한 진동은 예측되지 못하였다. 즉, 대상선의 종진동현상은 좁은 가진주파수 대역을 가진 추력변동력에 의해 발생되었기 때문에 정확한 선체 및 축계 고유진동수 계산결과가 있어야 사전예측이 가능했던 경우라 할 수 있다.

3. 기진기 실험

3.1 기진기 실험 결과

본 연구 대상 선박에 대해서는 선체 상하방향의 기

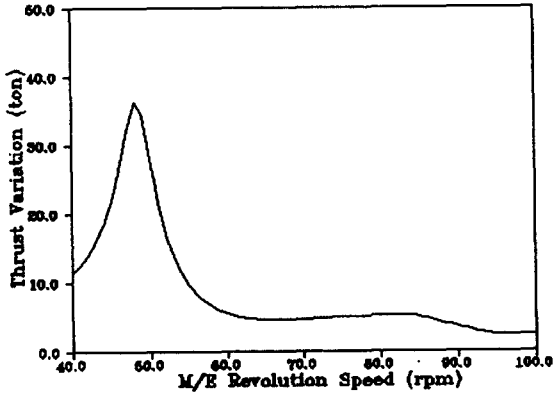


Fig.4 (a) Estimated thrust vibration

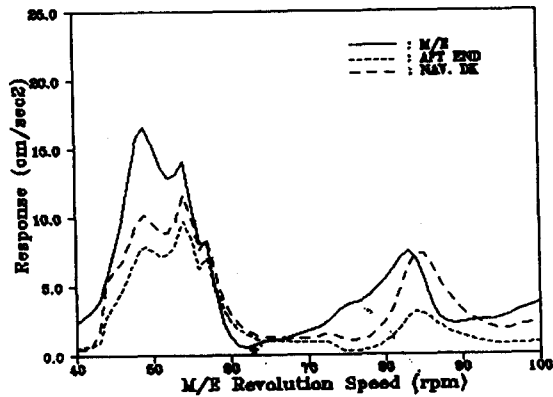


Fig.4 (b) Responses obtained by FEM analysis with excitation at thrust block

진기 실험을 이미 행하였으나 이때에는 가진력의 방향 때문에 선체 종방향모드는 전혀 발견할 수 없었다. 따라서 선체거더 종방향모드의 확인을 위해서 15톤 기진기를 가진력이 선체의 종방향으로 향하게 상갑판 선미에 설치하고 200 cpm에서 450 cpm까지 sweeping에 의한 기진기 실험을 행하였다. Fig. 5는 선미상갑판, 선루 앞쪽 상갑판 및 선수상갑판에서 계측된 주파수 응답함수를 보여주고 있는데 247.5 cpm에 나타난 조그마한 peak가 문제의 선체거더 종진동 1절 모드에 해당된다. Fig. 6은 선체 상하방향 기진기 실험 결과 중 한개를 보여주고 있는데 그림 5의 320 cpm에 나타난 peak는 선체종방향 모드에 의한 것이 아니라 선체 상하방향 모드와 관련된 peak라는 것이 증명되고 있다. 즉 선미 상갑판에서 상하방향 기진은 선체 종방향 모드를 전혀 가진시키지 못하지만 종방향 기진은 선체 종방향 모드뿐만 아니라 상하방향모드도 가진을 시키

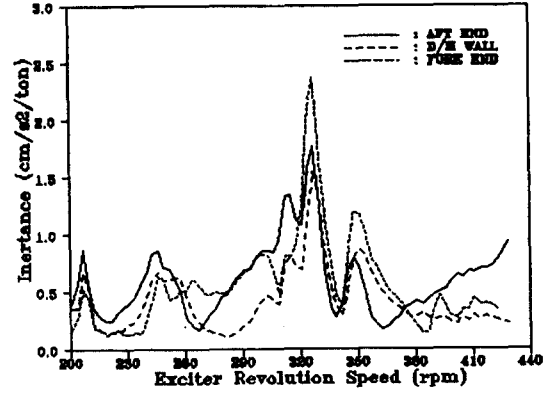


Fig.5 Frequency response function obtained by exciter test in longitudinal direction

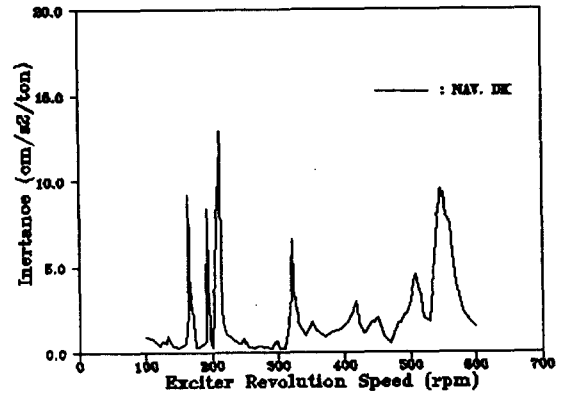


Fig.6 Frequency response function of navigation deck obtained by exciter test in vertical direction

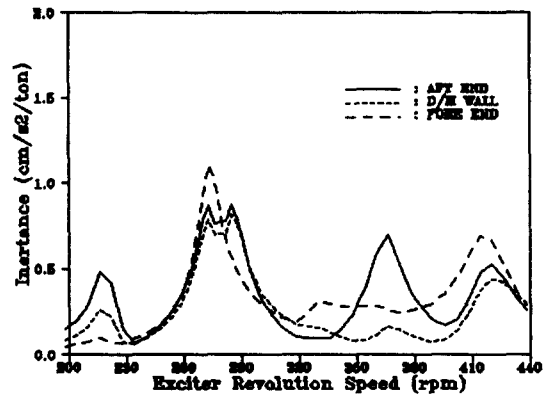


Fig.7 Frequency response function obtained by FEM analysis with the excitation at the upper deck aft end in longitudinal direction

는 것으로 나타났다.

3.2 기진기 실험과 진동해석과의 검토

Fig. 7은 기진기 위치에서 가진점을 갖는 해석결과와 주파수 응답함수이다. 이것을 기진기 실험결과(Fig. 5)와 비교하면 해석결과와 고유진동수가 기진기 실험 결과보다 약간 높게 나타나고 있지만 그 응답의 크기는 실험이나 해석결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 또 기진기 실험의 문제점은 가진점이 선체 중립축(neutral axis) 으로부터 거리가 멀리 떨어져 있기 때문에 선체거더 종방향 모드 가진이 효과적이지 못하다는 것과, 실제 종방향 모드의 주파수가 낮기 때문에 기진기의 가진력이 크지않아 종방향 모드의 효과적인 가진 또한 어렵다는 것이다. 참고로 기진기에 의한 가진력의 크기는 2~3 ton에 불과하지만 공진점에서 추력 불력에 작용하는 추력변동력은 20~30 ton이나 된다. 또한 진동해석 결과에 의하면 종방향 고유진동수는 선박의 하중효과에 따라 변화하기 때문에 해석에 의한 종진동 예측시는 이점도 고려되어야 한다.

4. 결론

- 1) 선체거더 종방향 모드는 overcritical 축계 시스템을 갖는 선박의 경우 축계 비틀림 진동 공진점에서 비틀림 진동과 연성되어 나타나는 축계 종방향 기진력

과 공진하면 선체 전반에 걸쳐 과대한 진동이 나타난다.

- 2) 선체거더 종진동은 축계 비틀림 진동 고유진동수와 공진 할때 크게 나타나므로 해석에 의한 예측은 정확한 선체 및 축계 고유진동수 계산을 필요로 한다.
- 3) 선체거더 종 방향모드는 선박의 하중조건에 따라 변화하지만 축계 시스템의 동특성은 변화하지 않으므로 동일 선박에서도 선박의 하중조건에 따라 진동이 다르게 나타날 수 있다.
- 4) Overcritical 축계 시스템을 갖는 선박중에서도 연속 사용금지구역(barred range)이 설정되지 않은 선박의 경우엔 하중조건에 따라 저속 입출항 운항시 선루를 포함한 선체에 심한 종진동이 발생할 수도 있다.

참 고 문 헌

- [1] DnV, Vibration control in ships, 1985.
- [2] HMRI Report "Vibration Measurement of 73,000 DWT Class Bulk Carrier", HMRI-93-05-R064, 1993.
- [3] HMRI Report "Forced Vibration Analysis of 73,000 DWT Bulk Carrier", HMRI-93-02-R017, 1993.