

파랑 중에 전진하는 선박에 대한 스프링잉 현상 해석

이호영*, 신현경**, 박흥식***, 박종환****

An Analysis of the Springing Phenomenon of a Ship Advancing in Waves

H. Y. Lee*, H. Shin**, H. S. Park*** and J. H. Park****

요 약

최근에 선박이 대형화되는 추세에 힘입어 조선소는 광폭천홀수선, 초대형 원유운반선 및 초대형 컨테이너선 등을 건조하고 있다. 이와 같은 선박은 상대적으로 다른 선박에 비해 강성이 작기 때문에 파랑 중에서 유탄성 운동을 하게 되고, 입사하는 파도가 작은 경우에도 선체의 2절 모드의 진동에 의해 선체의 갑판이 피로 파괴되는 경우가 종종 발생하는 것으로 알려져 있다. 본 논문에서 전진하는 선박의 유체 압력을 계산하기 위해 적분방정식은 3차원 소오스 분포법을 사용하고, 그린함수는 전진하면서 동요하는 형태를 이용하였다. 방사문제는 선박을 여러 개의 단면으로 나누어 단면간의 간섭효과를 고려하여 heave 및 pitch 강제동요와 관련된 부가질량 및 조파 감쇠계수를 계산하였고, 파강제력은 각 단면에서 선형해에 의한 힘만 고려하였다. 선박의 각 단면의 수직운동은 선박에 대한 운동방정식을 이용하고 강성행렬은 오일러 보 이론에 의해 산정되었다. 계산은 Esso-Osaka 선박을 모델로 도입하여 입사하는 파도의 주파수가 변함에 따른 선박의 각 단면에 대한 운동, 굽힘 모우멘트를 계산하였다.

※Keywords : Three Dimensional Source Distribution Method(3차원 소오스 분포법), Springing(스프링잉), Euler Beam Theory(오일러 빔 이론), Bending Moment(굽힘 모우멘트)

Abstract

The very large vessels like VLCC and container ship have been built recently

접수일자: 2001년 4월 30일, 승인일자: 2001년 7월 12일

* 정회원, 목포대학교 선박해양공학과 계약교수(연구당시 울산대학교)(E-mail: hy19930@yahoo.co.kr)

** 정회원, 울산대학교 수송시스템공학부 교수(E-mail: hkshin@uou.ulsan.ac.kr)

*** 학생회원, 울산대학교 수송시스템공학부 대학원생(E-mail: hongshik@ulsan.ac.kr)

**** 정회원, 목포대학교 선박해양공학과 교수(E-mail: jongpark@chungkye.mokpo.ac.kr)

and those vessels have smaller structural strength in comparison with the other convectional skips. As a result the fatigue destruction of upper deck occurs a frequently due to the springing phenomenon at the encountering frequencies. In this study, the hydrodynamic loads are calculated by three-dimensional source distribution method with the translating and pulsating Green function. A ship is longitudinally divided into 23 sections and the added mass, damping and hydrodynamic force of each section is calculated, focusing only on the vertical motion. Stiffness matrix is calculated by the Euler beam theory. The calculation is carried out for Esso Osaka.

1. 서언

최근 선박이 대형화되는 추세에 힘입어 조선소는 광폭천홀수선, 초대형 원유운반선 및 초대형 컨테이너선 등을 건조하고 있다. 이와 같은 선박은 상대적으로 다른 선박에 비해 강성이 작기 때문에 파랑중에서 유탄성 운동을 하게 된다. 선체의 2절 고유진동수와 입사파의 조우주파수가 서로 공진하여 갑판에 진동현상이 나타나는데 이를 스프링잉이라고 한다. 이에 대한 접근방법으로 대표적으로 Troesch (1984)가 실험과 이론적 연구를 한 바 있다. Troesch의 이론적 방법은 스트립(strip) 방법을 사용하였는데 이 방법의 단점은 부가질량, 조파 감쇠계수 및 파 강제력을 2차원 이론에서 계산하기 때문에 3차원적인 효과를 산정하기 어렵고, 각각의 스트립 간의 상호 간섭 효과를 고려하기도 어렵다. 또한 3차원 이론을 사용하여 전진속도가 없는 해양 구조물이나 부유식 다리에 대하여 유탄성 해석을 수행한 경우는 있으나 (Sief/Inoue 1998), 3차원 그린함수에 전진속도 영향을 고려하여 유탄성 해석이나 스프링잉 해석을 한 논문은 찾아보기 힘든 실정이다.

이전의 파랑 중에 전진하는 선박의 파랑하중은 선체의 유탄성 현상을 무시하고 강체로 가정하여 해석하였고, 결과적으로 스프링잉 현상에 대한 계산을 수행할 수 없었다(Chan 1990). 본 논문은 스프링잉 현상을 해석하기 위해서 선체를 탄성체로 고려하여 선체가 파랑중에 운항할 때 선체가 받는 외력에 의해 선체의 탄성응답 해석이 필요

하다. 유체동역학적인 힘을 구하기 위해서 전진하면서 동요하는 3차원 패널 방법을 이용하여 수직운동에 대해서 선체를 종방향으로 여러 개의 단면으로 나누어 각각의 부가질량, 조파 감쇠계수를 구하고 방사문제에 있어서는 각 단면간의 간섭효과를 고려하였다. 선박의 각 단면의 수직운동은 선박에 대한 운동방정식을 이용하고 강성행렬은 오일러 보 이론에 의해 산정되었다. 계산된 대상 선박은 Esso Osaka이며 입사파, 홀수, 강성변화에 따른 스프링잉 현상을 각 단면의 운동을 계산하여 비교 검토하였다.

2. 문제의 정식화

물체는 입사파에 의해 ω_0 주파수로 동요하고 이상유체중의 자유표면 상에서 U 속도로 전진한다. 자유표면에 있어서의 경계조건은 미소진폭으로, 고차의 미소량은 무시한다. Fig.1과 같이 우수직교좌표계를 취하고 물체 중심위의 평균자유표면에 원점이 놓이며 z축은 연직상방으로 향한다.

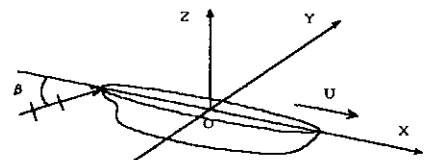


Fig.1 Coordinate system

입사파, 산란파와 물체의 전진동요에 기인된 총 포텐셜 $\Phi(x,t)$ 은 선형화 절차에 의해 다음과 같다.

$$\Phi(x;t) = -Ux + [\zeta \sum_{l=1}^N (\phi_0^l + \phi_7^l) + \sum_{l=1}^N \sum_{j=1}^6 \xi_j^l \phi_j^l] e^{-i\omega_e t} \quad (1)$$

where, ω_e : encounter frequency

단면 l 에서 ϕ_0^l 은 입사파 포텐셜, ϕ_7^l 은 산란 포텐셜, ϕ_j^l 은 단면 l 의 j 번째 운동 모드의 방사 포텐셜이고, ξ_j^l 은 단면 l 의 j 번째 운동모드의 진폭이다. 총 포텐셜 Φ 는 라플라스 방정식을 만족하고 방사조건을 만족한다. 방사 포텐셜과 산란 포텐셜은 다음 경계조건을 만족한다.

$$[(-i\omega_e - U \frac{\partial}{\partial x})^2 + g \frac{\partial}{\partial z}] \phi_j^l = 0 \quad j=1,2,\dots,7 \text{ on the free surface} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \phi_j^l}{\partial n} = -i\omega_e n_j^l + U m_j^l \quad j=1,2,\dots,6 \text{ on } S^l \quad (3)$$

$$\frac{\partial \phi_7^l}{\partial n} = -\frac{\partial \phi_0^l}{\partial n} \text{ on } S^l \quad (4)$$

$$\frac{\partial \phi_j^l}{\partial n} = 0 \quad j=1,2,\dots,7 \text{ at } z=-\infty \quad (5)$$

where, $l=1,2,\dots,N$: the number of section

n_j^l 는 $(n_1^l, n_2^l, n_3^l) = \vec{n}$ 과 $(n_4^l, n_5^l, n_6^l) = \vec{r} \times \vec{n}$ 의 방향코사인이다. \vec{n} 은 선체표면에서 바깥으로 향하고, \vec{r} 은 선체표면의 위치벡터이다. m_j^l 는 j 가 1,2,3,4일 때 0이고 $m_5^l = n_3^l$, $m_6^l = -n_2^l$ 이다.

본 연구에서는 경계치 문제를 풀기 위해서 적분 방정식은 Chang(1977)에 의해 제안된 형태를 사용하였고 방사문제는 선박을 여러 개의 단면으로 나누어 단면간의 간섭효과를 고려하여 heave, pitch 강제동요와 관련된 부가질량 및 조파 감쇠 계수를 계산하고, 파강제력은 각 단면에서 선형해

에 의한 힘만을 고려하였다.

$$F_j^l = -\rho \int_{S^l} (i\omega_e + U m_j^l) \cdot (\phi_0^l + \phi_7^l) n_j^l ds \quad (6)$$

$$A_{jk}^{ln} = -\frac{\rho}{\omega^2} Re \int_{S^l} (i\omega_e n_j^l + U m_j^l) \phi_k^{ln} ds \quad (7)$$

$$B_{jk}^{ln} = -\frac{\rho}{\omega} Im \int_{S^l} (i\omega_e n_j^l + U m_j^l) \phi_k^{ln} ds \quad (8)$$

$$K = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 4L^2 & -6L & 2L^2 & \\ & 12 & -6L & \\ sym & & & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

선박의 파랑 중에서의 선체를 탄성체로 고려한 운동모드에 대한 응답을 해석하기 위해서 오일러 보 이론을 사용하였다. 한 단면 사이의 길이를 L 이라고 할 때 강성행렬은 (9)식과 같고 이를 여러 단면으로 나눈 선박으로 확장하여 (10)식을 이용하여 수직변위를 구하였다.

$$\sum_{l=1}^N \sum_{k=3,5} [-\omega_e^2 (M_{jk}^{ln} + A_{jk}^{ln}) - i\omega_e B_{jk}^{ln}] (\xi_k^l) = \{F_j^l\} + (C_{jk}^{ln} + K_{jk}^{ln}) (\xi_k^l) \quad (10)$$

where $j=3,5, n=1,2,\dots,N$

where, M_{jk}^{ln} : mass matrix

A_{jk}^{ln} : added mass matrix

B_{jk}^{ln} : wave damping coefficient matrix

C_{jk}^{ln} : hydrostatic restoring coefficient force matrix

K_{jk}^{ln} : stiffness matrix

F_j^l : wave exciting force matrix

3. 계산결과 및 고찰

본 논문에서 계산을 수행한 선박은 Esso Osaka이고 Fig.2와 같이 454개의 패널로 분포시켜서 y 축에 대한 대칭관계를 이용하여 계산하였고 주요제원은 Table 1과 같다.

본 연구에서는 기본적인 계산조건을 만재상태 일 때 선속 14.5kts. 항파에서 수행하였다. 또한 입사각, 흘수와 강성을 변화시켜 계산하였고, 굽힘모멘트는 $\rho L^2 B \zeta$, 전단력은 $\rho L B \zeta$, 운동 응답은 입사파 진폭 ζ 로 무차원화시켰다.

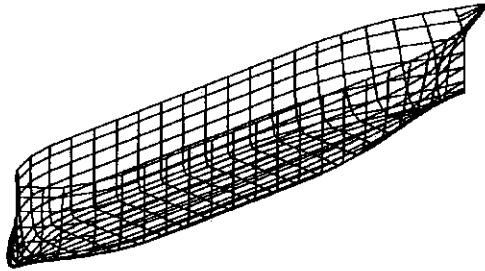


Fig.2 Grid arrangement of Esso Osaka

Table 1 Main particulars of Esso Osaka at full load condition

Lpp(m)	325.0
B(m)	53.0
T(m)	21.8
∇ (m ³)	311900
Aw(m ²)	15600
KG(m)	10.3

Fig.3은 본 계산에서 사용된 선박의 구획에 따른 강성에 대한 값을 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 구획에 따른 강성 값을 실제 선박과 마찬가지로 불 균일하게 분포하였다.

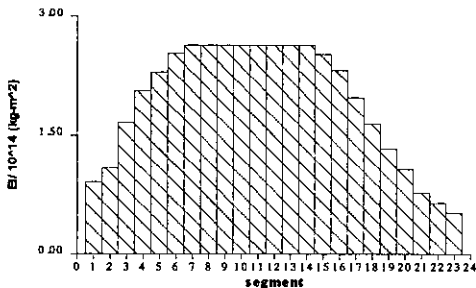


Fig.3 Bending rigidities along segments of ship

Fig.4~6는 흘수 21.8m일 때 조우주파수 변

화에 따른 각 단면의 운동응답을 나타내었다. 저주파수에서는 1절 모드가 일어나고 고주파수 영역으로 갈수록 2절 모드의 형태로 나타나서 조우주파수가 3.2%일 때 스프링잉 현상이 가장 크게 나타난다. 또한 조우주파수 0.2%에서 선박의 중심에서 수직운동이 1이 되므로 상하운동이 1이 되며 종운동은 약간 발생하는 것을 알 수 있다.

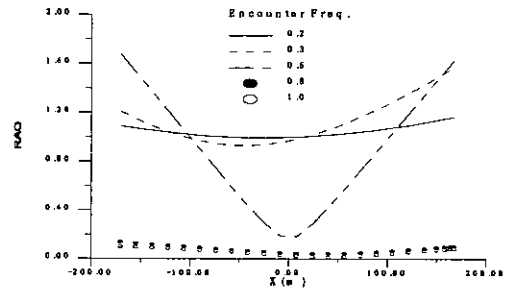


Fig.4 Vertical response for Esso Osaka at Fn=0.1321

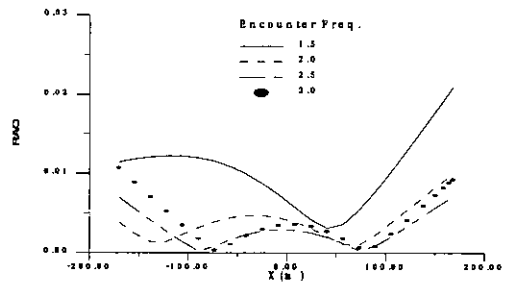


Fig.5 Vertical response for Esso Osaka at Fn=0.1321

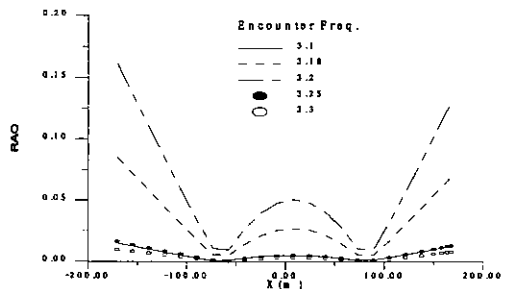


Fig.6 Vertical response for Esso Osaka at Fn=0.1321

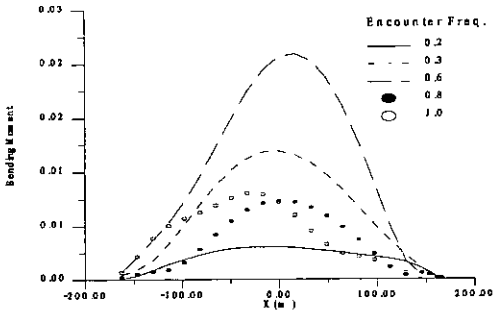


Fig.7 Bending moment for Esso Osaka at $F_n=0.1321$

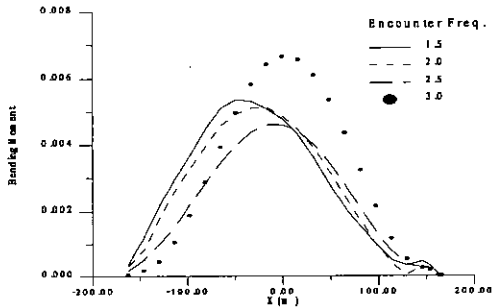


Fig.8 Bending moment for Esso Osaka at $F_n=0.1321$

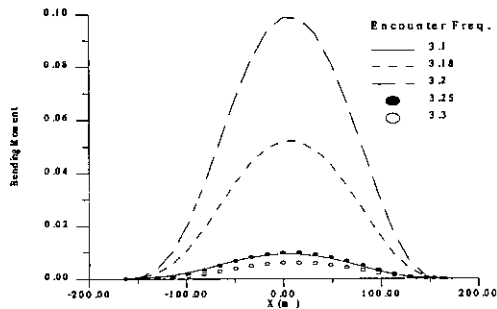


Fig.9 Bending moment for Esso Osaka at $F_n=0.1321$

Fig.7~9은 이때 나타나는 굽힘모멘트를 나타내었는데, 특히 Fig.9의 조우주파수 3.2%에서 최대값을 가지는 것을 볼 수 있다. 그림으로부터 굽힘 모멘트에 대한 선박의 길이에 따른 형태는 강제 계산의 경우와 같고, 모든 주파수에서 선박

의 중앙에서 최대값을 가진다.

Fig.10에서 조우주파수가 변함에 따른 각 단면에서 전단력을 나타내었고, 전단력의 최대값은 선박의 F.P와 A.P로부터 길이 방향의 1/4에서 최대값을 가지는 것을 알 수 있다.

Fig.11에서는 입사각을 변화시켜서 계산한 결

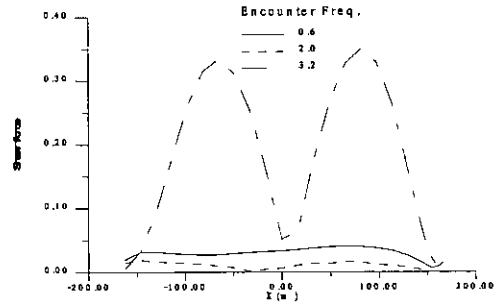


Fig.10 Shear force for Esso Osaka at $F_n=0.1321$ (draft=21.8m)

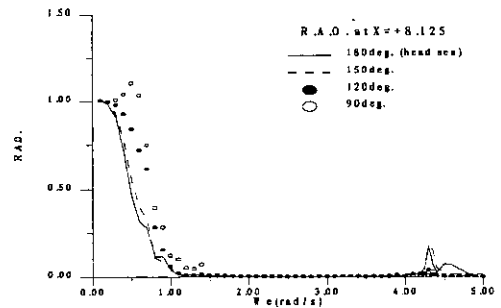


Fig.11 Vertical response operator (draft=9m)

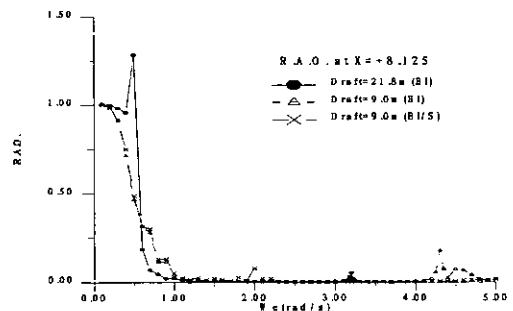


Fig.12 Vertical response operator

과를 비교하였으며, 저주파수에서 수직운동이 1로 접근한다.

Fig.12은 흘수 9m일때 강성을 5배 줄여서 주파수별로 계산하여 비교하였고, 스프링잉이 나타나는 주파수를 각각 찾아서 각 단면의 운동응답을 Fig.13에 나타내었다. 그림으로부터 흘수가 작아지면 선박의 스프링잉 고유 주파수는 커지고, 강성이 줄어들면 고유 주파수는 작아지는 것을 보여준다. 또한 본 계산에서 강성을 5배 줄여서 계산한 결과 고유주파수가 4.2%에서 2.0%으로 줄어들었고 운동 범위도 많이 작아져서 스프링잉 현상이 많이 완화된 것을 알 수 있다. 결과적으로 강성을 변화시키는 것이 선박의 스프링잉 현상을 회피하는데 효과적인 것으로 판단된다.

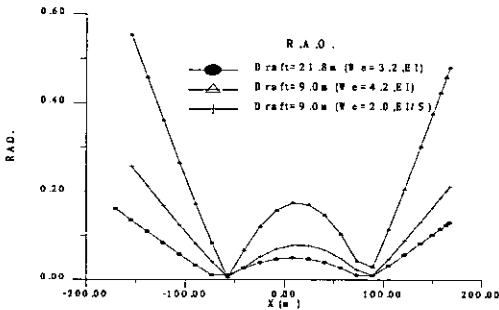


Fig.13 Vertical response for Esso Osaka at Fn=0.1321

4. 결론

본 연구에서는 파랑 중에 전진하면서 동요하는 선박에 작용하는 하중과 탄성을 고려한 선체 응답을 전진속도와 3차원 효과를 포함하여 계산하였다. 다른 선박에 비해 상대적으로 강성이 작은 초대형 컨테이너선과 초대형 원유운반선에 대해서 초기 설계단계에 특정 조우주파수에서 일어나는 스프링잉 현상을 예측할 수 있고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 선박을 길이방향으로 여러 개의 단면으로 나누어 전진하면서 동요하는 3차원 그린함수를 이용하여 각 단면의 파강제력, 부가질량, 조파 감쇠

계수를 각각 계산하고 오일러 보 이론을 사용하여 각 단면의 운동응답을 구하여 특정 주파수에서 2 질 모드의 진동현상이 발생하는 것을 수치계산할 수 있었다.

(2) 흘수와 강성을 변화시켜 주파수 별로 수치계산하여 스프링잉이 일어나는 특정 조우주파수를 계산할 수 있었으며, 흘수가 작아지면 스프링잉이 나타나는 특정 조우주파수에서 수직운동이 커지고 강성을 줄이면 작아지는 것을 알 수 있었다.

(3) 앞으로 파강제력항을 계산할 때 비선형항을 고려하고, 구조감쇠계수를 고려하여 수치 계산할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- 이호영, 염덕준 1994 “파랑중에 전진동요하는 선박의 특이 파수 억제에 관한 연구,” 대한조선학회 논문집, 제31권 제4호, pp.73-81
- Chan, H. S., 1993 “Prediction of Motion and Wave Loads of Twin-Hull Ships,” Marine Structures, Vol.6, pp.75-102
- Chang, M. S., 1977 “Computations of Three-Dimensional Ship-Motions with Forward Speed,” Proc. of the 2nd Int. Conference on Numerical Hydrodynamics, Berkeley, U.S.A
- Sief, M. S. and Inoue, Y., 1998 “Dynamic Analysis of Floating Bridges,” Marine Structures, Vol.6, pp.29-46
- Troesch, A. W., 1984 “Wave-Induced Hull Vibration : An Experimental and Theoretical Study,” Journal of Ship Research, Vol.28, No.2 Marine



< 이 호 영 >



< 박 홍 식 >



< 신 현 경 >