

선박의 전선해석을 위한 모델링 기법에 관한 연구#

A Study on the Global Vibration Analysis Method of the Commercial Vessels

조 현 동* · 최 수 현* · 주 경 림**

Hyun-dong Cho, Su-hyun Choi and Kyung-lim Joo

(2007년 11월 26일 접수 ; 2008년 4월 23일 심사완료)

Key Words : NSM(non structural mass), VMM(virtual mass module), Draft(선박 홀수), Bridge Wing(항해 선교)

ABSTRACT

The vibration analysis is necessary at the design stage to improve crew's life on board and to prevent the vibration troubles of the hull structures and main machineries prior to the construction. Especially, if high vibration problems occur on the global structures like the hull girder and the deckhouse after construction, it takes lots of time, labor and cost to cure them and thus accurate analysis of global vibration should be performed from the design stage. In this study, some factors for the global vibration analysis have been investigated and the way to be applied to the analysis has been suggested.

1. 서 론

선박 설계과정에서 주요 장비의 성능 유지와 선원들의 승선감 향상을 위해 진동 관점에서의 검토가 반드시 필요하다. 따라서, 전선진동 해석 및 국부진동해석이 요구되며, 이 중 전선진동 해석의 경우 선박의 완성 후 진동문제 발생 시 해결이 매우 어려움으로 높은 정확도가 요구된다.

최근 각 조선소의 전선진동 해석기술은 이미 시운전 시 획득한 진동계측 자료를 통해 그 결과를 검증하여 상당한 기술적 향상을 이루어 왔으며, 선주와 선급들로부터 그 성과를 인정받고 있다. 하지만, 여전히 해석과 계측 결과 사이에는 다소 차이가 발생

하고 있으며, 이를 극복하기 위해 전선진동 해석에 있어서 가장 기본적인 유한요소 모델의 검증작업이 요구되게 되었다.

이 연구에서는 전선진동 해석 시 각 해석 기관별로 차이가 있는 유한요소해석 모델의 특징적인 요소들 중, 해석의 결과에 영향을 미칠 것으로 예상되는 인자들을 선정하였다. 그리고 각 인자들의 적용에 따른 비교 분석을 통해 영향을 고찰하고, 향후 전선 해석 수행 시 적용 여부를 평가하였다.

평가방법으로는 각 인자들을 적용한 전선진동 해석을 수행하고, 고유치 해석 결과와 강제진동 해석 결과를 비교 평가하여 각각의 변수가 전선진동 해석결과에 미치는 영향을 파악 하는 방법을 이용하였다.

2. 적용 대상 및 영향인자 선정

2.1 적용 대상 선박

적용 대상 선박은 과거 특정 조건에 대해서 뚜렷한 진동 특성을 보이는 선박을 대상으로 하였다.

† 교신저자: 정희원, 대우조선해양(주)
E-mail : hyundongcho@dsme.co.kr
Tel : (055)680-5560, Fax : (055)680-2142

* 정희원, 대우조선해양(주)

** 대우조선해양(주)

이 논문은 2007 추계학술대회에서 우수논문으로 추천되었음.

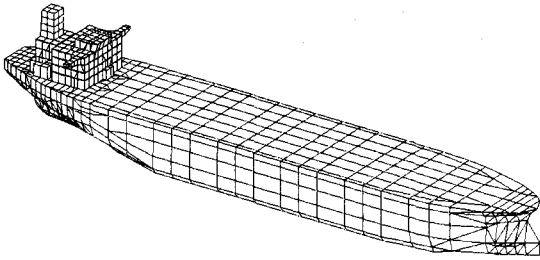


Fig. 1 Model A

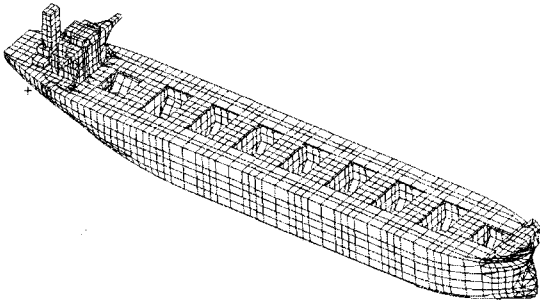


Fig. 2 Model B

위의 두 선박의 해석 모델에 앞에서 언급한 인자들을 적용하여 그 영향을 평가하였다.

2.2 영향평가인자 선정

이 연구에서는 전선진동 해석 시 모델링에서 배제된 요소들 중, 해석의 결과에 영향을 미칠 것으로 예상되는 인자들을 선정하였다. 기존의 전선해석 수행 시 배제된 인자들 중, 새로이 적용 될 만한 사항들은 다음과 같다.

- (1) 흘수 적용 방법에 따른 특성 검토
- (2) Radar mast가 거주구 진동에 미치는 영향
- (3) 선박 하중 적용 방법에 따른 진동 특성 검토
- (4) 선박 거주구 내부 격벽의 콜루게이티드 월(Corrugated wall) 강성 적용

위 인자들의 선정 배경은 각종 선급 및 연구 기관에서 위의 요소들을 적용하여 해석을 수행 하고 있으나, 그 적용 여부가 각각 다르므로 인해 해석 결과 비교 검토에 의문점이 제시되고 있다. 따라서, 그 영향에 대한 평가가 요구 되었다.

3. 각 인자의 영향력평가

3.1 흘수 적용 방법에 따른 특성 검토

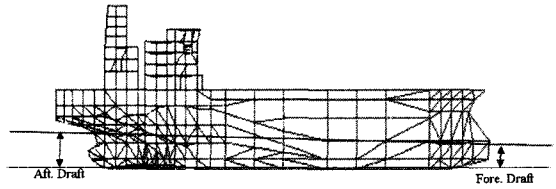


Fig. 3 Difference between Aft. and Fore. draft

F.E 해석에 있어서 해석 대상의 유체 접수 여부는 해석대상의 고유 특성변화에 지대한 영향을 미친다. 일반적으로 NASTRAN을 이용한 유한요소해석의 경우 VMM(virtual mass module)을 이용하여 유체 접촉에 의한 영향이 고려된다.

VMM은 유체 계에 대해서 경계요소법(BEM)을 적용하여 유체의 흐름을 부가질량 행렬로 나타내고, 이를 이용하여 임의의 형상을 갖는 구조 계의 유체 연성 동적 해석을 수행하는 기능을 제공하고 있다. VMM에 사용되는 유체는 비점성, 비압축성, 단일 밀도를 가지는 유체로 가정한다.

선박의 전선진동 해석에 있어서도 유체에 접한 선체 외벽의 접수상태는 반듯이 고려되어야 할 사항 중 하나 이다. 이때, 접수 면의 적용 방법은 크게 다음의 세 가지가 있다.

- (1) 평균 흘수 적용
- (2) 단차가 있는 계단식 흘수 적용
- (3) 경사진 흘수 적용(trimmed draft)

위 세 가지 경우 중 이 논문에서는 평균 흘수 적용의 경우와 경사진 흘수 적용에 관한 경우를 비교 하였다.

경사진 접수 면의 적용 방법은 NASTRAN의 좌표 축을 경사면을 따라 정의하여 그 효과를 고려하였다.

3.2 Radar Mast가 거주구 진동에 미치는 영향

선박 거주구의 부가 구조물 중 항해선교를 제외하고 가장 큰 구조물은 radar mast이다. Radar mast의 경우 일반적인 전선진동 해석 모델에서는 거주구 상부에 부가 질량으로만 고려할 뿐 그 자체의 진동 모드는 고려되지 않고 있다.

그러나, 일부 선급과 대학 실험실 에서 수행한 전선진동 해석 모델에는 radar mast를 포함시키고 있다.

이 논문에서는 거주구 상부에 radar mast가 실제로 모델링 된 경우, 즉 radar mast가 자체 무게 중

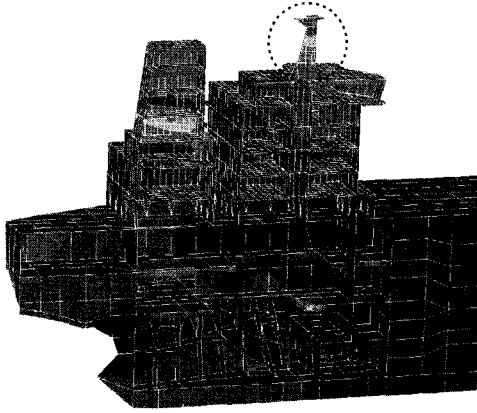


Fig. 4 F.E model for vibration analysis suggested by classes

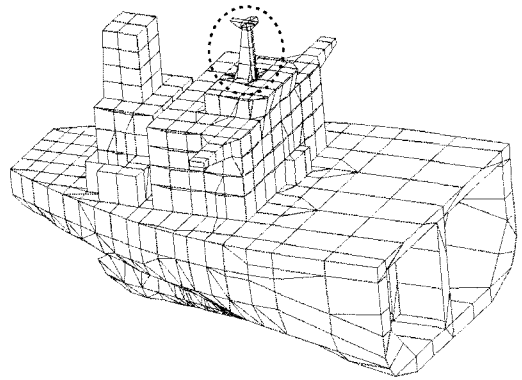


Fig. 6 F.E model considering a radar mast

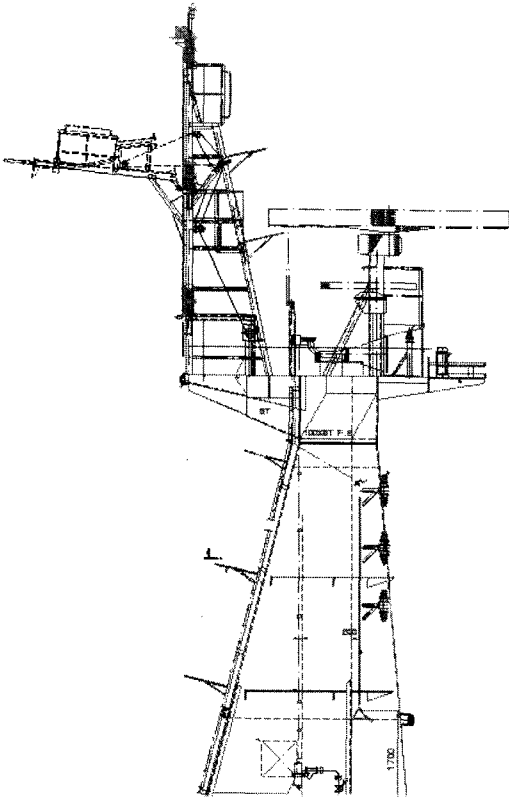


Fig. 5 Radar mast installed on the top of Vessel's deck house

십 만큼 상승되어 모델링 된 경우의 거주구 진동 특성을 평가 하였다.

일반적으로 radar mast 상부의 전장 장비들은 호선마다 각각 차이가 있으며, 표준화된 radar mast를

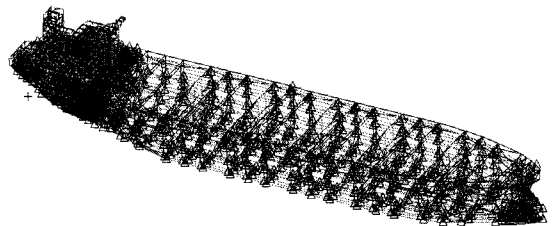


Fig. 7 Additional mass consideration using point mass

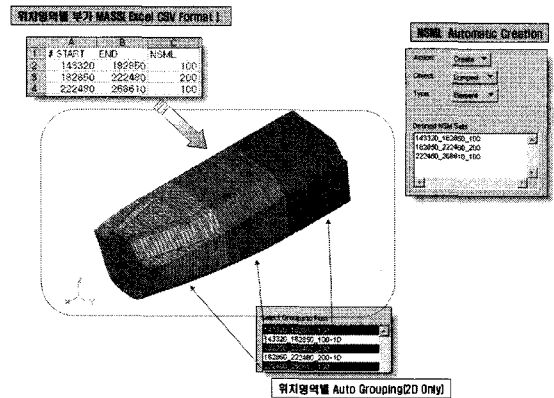


Fig. 8 Additional mass consideration using NSM (non-structural mass)

적용한다 하더라도 상부 전장 장비의 무게와 하중, 배치 등은 때에 따라 변동이 가능하다. 전반적으로 radar mast의 자체 진동모드가 거주구에 주된 영향을 줄 수 있을 것으로 추정 하였고 상부 전장장비의 영향은 적을 것으로 판단하였다. 따라서, radar mast 모델링 시 전장장비는 하중으로만 고려하였고 radar mast의 자체 진동모드는 충분히 반영 되도록

모델링 하였다.

3.3 선박 하중 적용 방법에 따른 진동 특성 검토

전선해석 수행에 있어서 카고탱크(Cargo tank) 및 기타 탱크류의 부가 질량 고려는 해석의 전반적인 결과에 지대한 영향을 미친다. 일반적으로 부가 질량 고려 방법은 집중하중(point mass)을 이용하는 방법과 카고탱크 등에 적용된 요소의 밀도를 조절하는 방법 등이 있다.

최근 MSC에서 NASTRAN에 NSM(non structural mass)을 반영하는 모듈을 추가 하였다. NSM은 선택된 그룹의 요소에 단위 길이 혹은 단위 면적에 지정된 부가 질량을 적용하는 방법이다. 따라서, 향후 적용에 앞서서 현재까지 적용해 오던 집중하중 방법과 NSM 적용 시의 차이를 검토해 보고 NSM 모듈의 적용 가능성을 검증해 보고자 한다.

3.4 선박 거주구 내부 격벽의 콜루게이티드 월 강성 적용

최근 각 조선사에서는 생산성 향상의 일환으로 거주구 구역에 콜루게이티드 월을 확대 적용하고 있다. 콜루게이티드 월은 상부 하중에 의한 거주구 격벽의 굽힘 강성을 증가시키기 위해 적용 되고 있다.

Fig. 9에서 알 수 있듯이 콜루게이티드 월은 파면과 평면으로 이루어져 있다. Y축에 비해 X축 방향으로의 인장강성은 파면 부분의 영향으로 동일 면적의 일반 보강 판에 비해 작아진다. 또한, 전단강성 역시 파면의 영향으로 작아진다.

최근 발표된 여러 논문에 의하면 콜루게이티드 월 적용 여부에 따라 고유치 및 응답에 다소 차이가 있

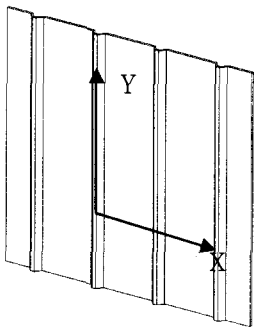


Fig. 9 Corrugated wall installed inside a deck house

음을 보이고 있다. 콜루게이티드 월의 물성치 획득 방법은 크게 다음과 같다.

- (1) GL식 적용
- (2) Asokendo theory 적용
- (3) Takeda식 적용

선급인 GL은 Dr. Border Hinrichsen의 콜루게이티드 월 강성 추정 식을 이용하여 다음과 같은 방법으로 강성을 구형 하였다.

$$t = F \cdot t_w, \quad E_n = \frac{E_{sreel}}{25 \cdot F} \quad (1)$$

$$G' = \frac{G_{sreel}}{F^2} \quad (2)$$

$$E_s = E_{sreel} = 2.06E11, \quad \nu_{ns} = 0.3$$

t_w : Thickness of swage plating=0.006

F : Ratio "true length swage cross section per projected length"

GL식의 변수 F 는 곡면의 길이(S)를 평면으로 투영된 길이(L)로 나눈 값이다. 식에서 파형 방향의 영 계수(Young's modulus, E_n)의 보정치 '25'는 다음의 유한요소해석 모델에 의해 산정된 식이다.

그 외의 다른 인자들은 경험식을 통한 보정치이다. 하지만 위의 보정치는 적용 되는 콜루게이티드 월의 형상과 치수에 의해 달라 질 수 있다.

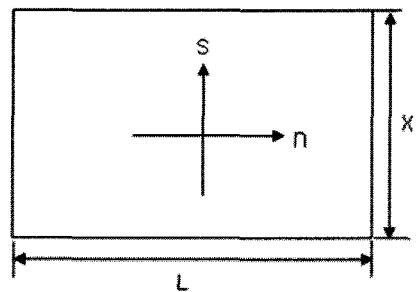


Fig. 10 Coordinate of Corrugated wall in GL theory

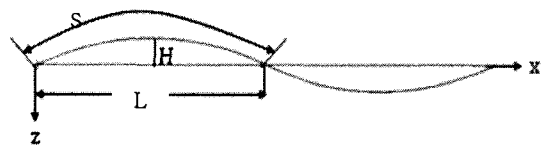


Fig. 11 Waveform of Corrugated wall in GL theory

위와 같은 방식으로 다께다⁽⁴⁾는 유한요소해석을 이용하여 다음과 같이 전단 강성을 유도하였다.

다께다 시오리는 사용된 모델의 치수에 따라 전단 강성이 결정되는 단점이 있다. 앞에서 언급한 세 가지 방법 중 콜루게이트드 월의 치수에 상관없이 강성 요소를 추출할 수 있는 방법은 다음에 언급할 아소켄도⁽⁸⁾ 시오리이다.

아소켄도 시오리의 기본 가정은 파면 방향의 인장력 만 작용하고 파면에 수직 방향 인장력은 없다고 하면 내부 응력은 다음과 같이 압축된다.

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$\nu_{12}E_y\varepsilon_x + E_y\varepsilon_y = 0 \quad (4)$$

$$N_x = \frac{t}{(1-\nu_{12}\nu_{21})} [E_x\varepsilon_x + \nu_{21}E_x(-\nu_{12}\varepsilon_x)] = tE_x\varepsilon_x \quad (5)$$

$$N_x = \frac{t}{(1-\nu_{12}\nu_{21})} [E_x\varepsilon_x + \nu_{21}E_x(-\nu_{12}\varepsilon_x)] = tE_x\varepsilon_x \quad (5)$$

$$A_{11} = \frac{E_x t}{1-\nu_1\nu_2}, \quad A_{12} = \nu_{21}A_{11},$$

$$A_{22} = \frac{E_y}{E_1} A_{11}, \quad A_{33} = \frac{G_{xy}}{E_1} A_{11} \quad (6)$$

ν : Position's ratio, E_x, E_y : Young's modulus,
 G_{xy} : Shear modulus

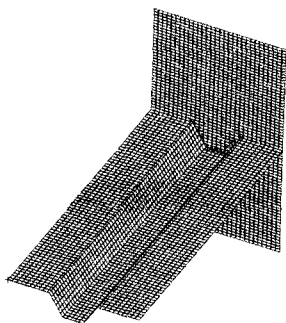


Fig. 12 F.E model used to correct the Young's modulus in GL theory

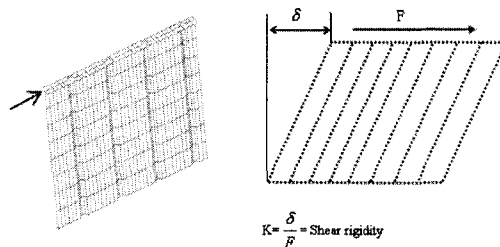


Fig. 13 Corrugated wall model used in Takeda theory to find out shear rigidity

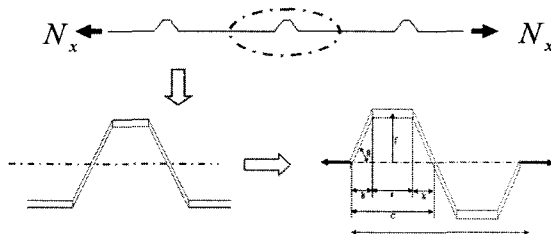


Fig. 14 Equivalent corrugated wall used in Asokendo theory

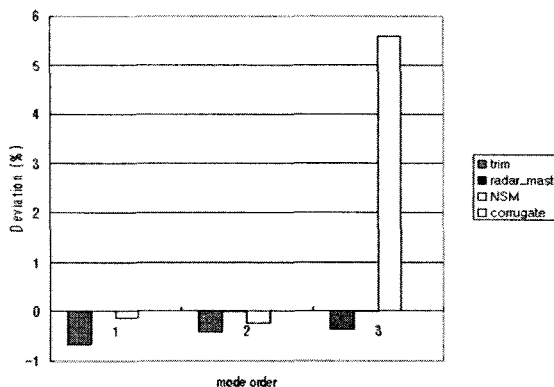


Fig. 15 Deviation of modal analysis results(Model-A)

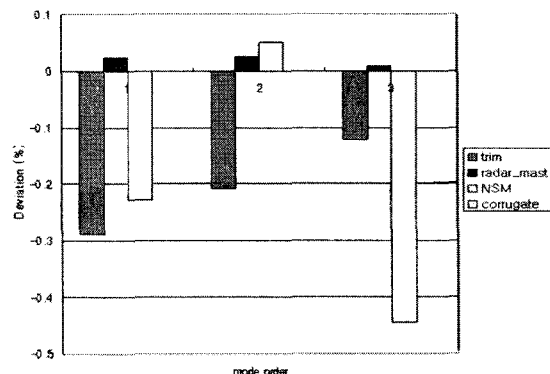


Fig. 16 Deviation of modal analysis results(Model-B)

강성을 추정하기 위해 다음과 같은 파형 판으로 증가시켜 각 방향 별 영계수를 구한다.

Fig. 14의 증가 모델을 이용해서 방향 별 스트레인 에너지를 구하고 보 이론을 이용하여 강성 요소를 추정한다. 이 논문에서는 아소켄도 시오리를 이용하여 콜루게이티드 월의 강성 요소를 유도하였다.

3.5 영향력 비교

영향 평가 방법은 모달 해석을 통한 고유치 평가와 강제진동 해석을 통한 진동 응답 비교를 이용하였다. 각 인자별 저차 전선 진동모드의 고유치 변화는 다음과 같다.

NSM적용을 제외하면 전선 진동 모드의 고유치 변화는 크지 않았다(1% 내외). NSM적용 시는 모드 형상에 따라서 고유치 차이가 민감함을 알 수 있었다. 그 외의 요소들의 영향은 고유치 해석 관점에서

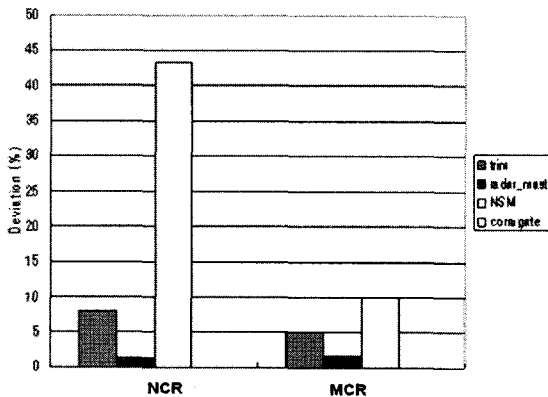


Fig. 17 Deviation of forced vibration analysis results(Model-A)

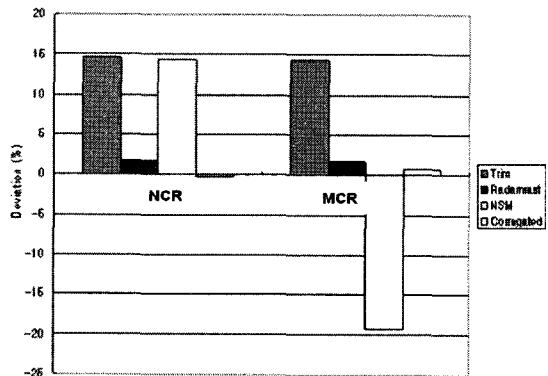


Fig. 18 Deviation of forced vibration analysis results(Model-B)

는 미미하였다.

강제진동 해석 에서는 다음과 같은 결과를 보였다.

Fig. 17, 18에서 보는 것과 같이 경사진 홀수 적용과 NSM 적용을 제외하면 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

4. 결 론

이 논문에서는 기존의 각 기관별로 차이가 있던 선박의 전선진동 해석을 위한 유한요소 모델의 모델 별 특성을 검토하기 위해 모델별로 특징적인 요소를 선정하여 그 영향을 검토 하였다.

위와 같은 배경에 의해 선정된 인자들은 다음과 같다.

- (1) 홀수 적용 방법에 따른 특성 검토
- (2) Radar mast가 거주구 진동에 미치는 영향
- (3) 선박 하중 적용 방법에 따른 진동 특성 검토
- (4) 선박 거주구 내부 격벽의 콜루게이티드 월강성 적용

위의 각 인자들을 적용하여 전선모델의 고유진동 해석과 강제진동 해석을 수행하였고, 그 결과와 위 인자들이 배제된 해석 결과의 차이를 검토 하여 각각의 인자가 전선진동 해석에 미치는 영향을 평가하였다.

이상으로부터 다음과 같이 종합하여 정리할 수 있다. 홀수 적용 방법의 경우 거주구와 선미의 진동 모드가 연성되어 나타나는 경우 에는 기존의 해석 결과에 비해 계측 치에 더 잘 부합함을 알 수 있었다. 따라서, 향후 전선진동 해석에서는 선수, 선미의 홀수 차(trim effect)를 고려하는 것이 더 적합함을 알 수 있었다.

이상으로부터 다음과 같이 종합하여 정리할 수 있다.

홀수 적용 방법의 경우 거주구와 선미의 진동 모드가 연성되어 나타나는 경우 에는 기존의 해석 결과에 비해 계측 치에 더 잘 부합함을 알 수 있었다. 따라서, 향후 전선진동 해석에서는 선수, 선미의 홀수 차(trim effect)를 고려하는 것이 더 적합함을 알 수 있었다.

Radar mast가 거주구 진동성능에 미치는 영향은 그 결과가 미미하였다. 따라서, 굳이 해석에 radar mast상세 모델을 포함시킬 필요는 없을 것으로 보인다.

선박 하중 적용 방법의 경우 고유치 해석과 강제진동해석에서 모두 차이를 보이고 있으며 그 결과의 차이가 예상보다 크게 나타나고 있다. 현재 각 선사의 경우 실제 계측 치와 비교하여 고유한 하중 분포 적용 방안을 가지고 있으며 이에 따라 최적의 유한요소 모델을 개발하고 있다. 따라서, 현 시점에서 일괄적으로 NSM을 즉시 적용하기에는 무리가

있다. 향후 NSM 적용을 위한 추가 검토가 필요 할 것으로 보인다.

콜루게이티드 월은 이방성 재료의 특성을 지니고 있으며 각 방향의 강성 차이가 매우 큰 특성이 있다. 각 선사가 사용하는 가장 보편적인 상용 프로그램인 NASTRAN에서는 콜루게이티드 월과 같이 방향 별 강성 차가 큰 재료를 적용하는 경우 해석이 진행되지 않아서 적용에 한계가 있었다. 따라서, PATRAN에서 지원하는 에퀴바런트 셸(Equivalent shell)을 적용하였으나, 이 역시 인장강성 구현에 있어서 방향성이 없다는 단점이 있었다. 이 연구에서는 아소켄도 시오리를 이용하여 구한 전단강성 만을 고려하여 해석을 수행 하였으나, 그 결과에 있어 차이가 예상보다 적어 주목할 만한 것은 아니었다. 따라서, 방향에 따른 강성의 차이를 고려할 수 있는 방안에 대한 추가 노력이 필요하다.

참 고 문 헌

(1) Reby, J. N., 1976, "Theory and Analysis of Elastic Plates", Texas A&M University.
 (2) Kim, B.-H., 2007, "Study of the Vibration Stiffness of Swage Wall in Deck House", Proceedings of the SNAK Conference of the Society

of Naval Architects of Korea.

(3) Jun, J.-H., 1991, "Study of the Application of Swage Wall to Deckhouse", Samsung Heavy Industry Engineering Review, Vol. 3 No. 1, pp. 18~24.

(4) Takeda, Y., 2005, "Finite Element Modeling for Superstructure Vibration of a VLCC", TEAM Conference 2005.

(5) Robert D. Blevins, 1990, "Flow-induced Vibration", VAN NOSTRAND REINHOLD.

(6) MSC Software, "Advanced Dynamic Analysis User's Guide", Version 2004.

(7) Asokendo Samanta, 1999, "Finite Element Static and Dynamic Nalysis of Folded Plates", Engineering Structures, Vol. 21, pp. 277~287.

(8) Heo, Y.-C., 2006, "Crack Identification of Euler-Bernoulli Beam Using the Strain Energy Method", Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 396~400.

(9) Kim, J.-O. and Noon, B.-H., 2001, "Flexural Vibration of a Rectangular Plate with Orthotropically and Harmonically Varying Material Properties", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 323~328.