선박의 전선해석을 위한 모델링 기법에 관한 연구

A study on the global vibration analysis method of the commercial vessels

조현동†·최수현*·주경림**

Cho hyun-dong, Choi su-hyun, Joo kyung-lim

Key Words : NSM(Non structural mass), VMM(Virtual mass module).

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 maintenance 와 선원들의 승선감 향상을 위해 진동 관점에서의 검토가 반듯이 필요하다. 따라서, 전선진동해석 및 국부진동해석이 요구되며, 이 중 전선진동해석의 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 인정 받고 있다. 하지만, 여전히 해석과 계측 결과 사이에는 다소 차이가 발생하고 있으며, 이를 극복하기 위해 전선진동 해석에 있어서 가장 기본적인 유한요소 model 의 Update 가 요구되게 되었다.

본 연구에서는 전선진동 해석 시 모델링에서 배제된 요소들 중, 해석의 결과에 영향을 미칠 것으로 예상되는 인자들을 선정하였다. 그리고 각 인자들의 적용에 따른 비교 분석을 통해 영향을 고찰하고, 향후 전선해석 수행 시 적용 여부를 평가 하였다.

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

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

*, ** 대우조선해양 주식회사

2. 적용대상 및 영향인자 선정

2.1 적용대상선박

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

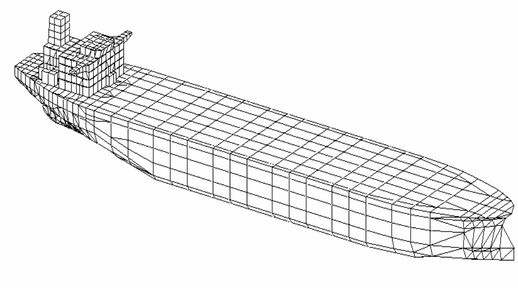

Fig.1 Model A

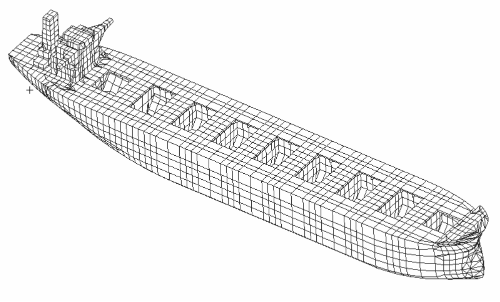

Fig.2 Model B

위의 두 선박의 해석 모델에 앞서 언급한 인자 들을 적용하여 그 영향을 평가하였다.

2.2 영향평가인자 선정

본 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 될만한 사항들은 다음과 같다.

- Trim effect
- Radar mast 의 D/H 진동에 미치는 영향
- MSC/NSM(Non Structural Mass)의 적용
- Internal wall 의 corrugated wall 강성 적용

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

3. 각 인자의 영향력평가

3.1 Trim effect

F.E 해석에 있어서 해석 대상의 유체 접수 여부는 해석대상의 고유 특성변화에 지대한 영향을 미친다. 일반적으로 NASTRAN 을 이용한 F.E 해석의 경우 VMM(Virtual Mass Module)을 이용하여 유체 접촉에 의한 영향이 고려된다.

VMM(Virtual Mass Module)은 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. VMM 에 사용되는 유체는 비점성, 비압축성, 단일 밀도를 가지는 유체로 가정한다.

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

- Mean draft 적용
- 단차가 있는 계단식 Draft 적용
- Trimmed draft 적용

위 세가지 경우 중 본 논문에서는 Mean draft 적용의 경우와 Trimmed draft 적용에 관한 경우를 비교 하였다.

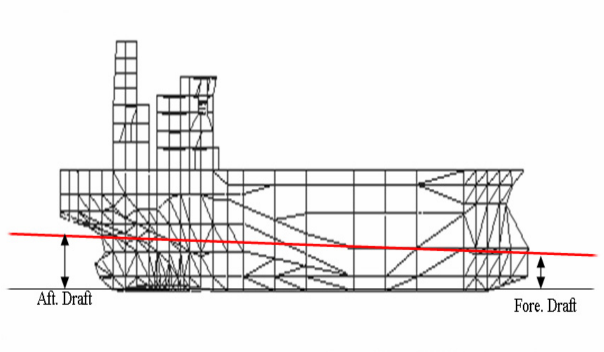

Fig. 3 선박의 선수, 선미의 Draft 차.

경사진 접수 면의 적용 방법은 NATRAN 의 좌표축을 경사진 Trim 을 따라 정의하여 그 효과를 고려 하였다.

3.2 Radar mast 의 D/H 진동에 미치는 영향

Deckhouse 의 부가 구조물 중 Bridge Wing 을 제외하고 가장 큰 구조물은 Radar Mast 이다. Radar Mast 의 경우 일반적인 전선진동 해석 모델에서는 Compass Deck 상부에 부가 질량으로만 고려할 뿐 그 자체의 Inertia Moment 의 영향은 고려 되지 않고 있다. 그러나, 일부 선급과 대학 에서 수행한 전선진동 해석 모델에 Radar Mast 를 포함시키고 있다.

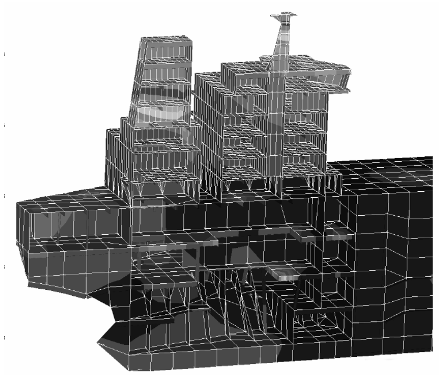

Fig. 4 선급에서 제시한 전선해석 모델

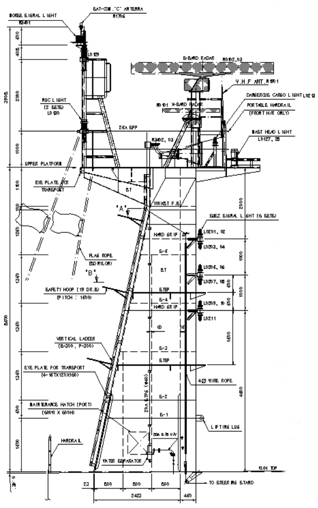

Fig. 5 Radar mast 모델

본 논문에서는 Deckhouse 상부에 Radar Mast 가 실제로 Modeling 된 경우, 즉 Radar Mast 가 자체 무게 중심만큼 상승되어 모델링 된 경우의 Deckhouse 진동에 미치는 영향을 평가 하였다.

일반적으로 Radar Mast 의 상부 UPP. Platform 의 전장 장비들은 호선마다 각각 차이가 있으며, 표준 Radar Mast 를 적용한다 하더라도 NUC Light Post 의 Height 등은 때에 따라 변동이 가능하다. 그러나, 전반적으로 Radar Mast 의 main post 진동 mode 가 deckhouse 에 주된 영향을 줄 수 있을 것으로 추정 하였고 상부 전장장비의 영향은 적을 것으로 판단하여, 따라서, Radar mast modeling 시 전장장비는 mass 만을 고려 하였고 Radar mast 의 Main post mode 가 반영 되도록 모델링 하였다.

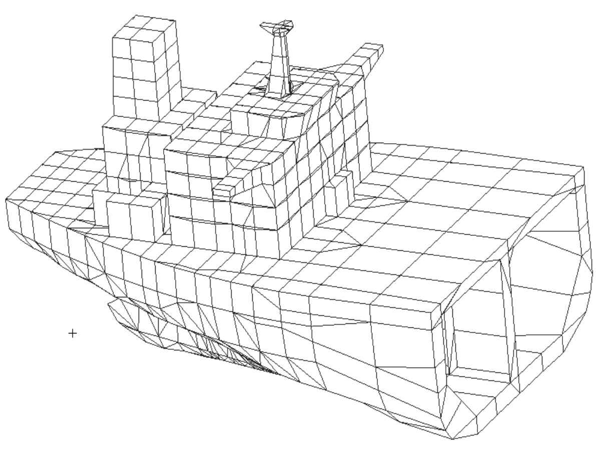

Fig. 6 본 논문의 Radar mast 적용 모델

3.3 MSC/NSM(Non Structural Mass)의 적용

전선해석 model 에 있어서 Cargo tank 및 기타 부가 질량의 고려는 해석의 전반적인 결과에 지대한 영향을 미친다. 일반적으로 부가질량 고려 방법은 Point mass 를 이용하는 방법과 Cargo tank 등에 적용된 element 의 density 조절 방법 등이 있다. 이는 Cargo tank, AP tank, 그리고 Ballast tank 등에 적용된다.

최근 MSC 에서 NASTRAN 에 NSM(Non Structural Mass)을 반영하는 module 을 update 하였다. NSM 은 선택된 그룹의 element 에 단위 길이 혹은 단위 면적에 지정된 부가 질량을 적용하는 방법이다. 따라서, 향후 적용에 앞서서 현재까지 적용해 오던 point mass 방법과 NSM 적용시의 차이를 검토해 보고 NSM module 의 적용 가능성을 검증해 보고자 한다.

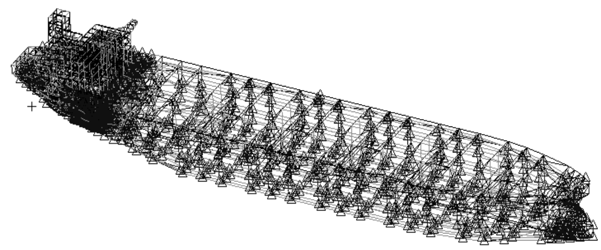

Fig. 7 Point mass 를 이용한 부가질량 고려

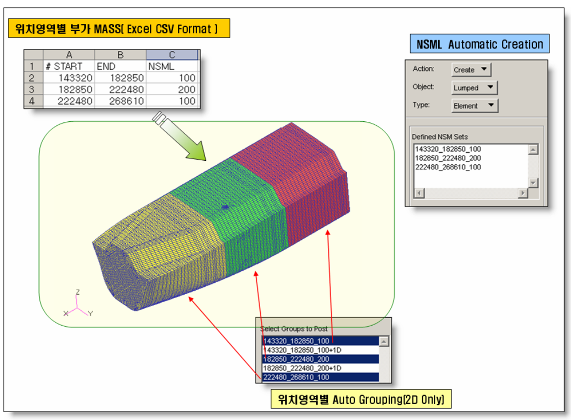

Fig. 8 Non Structural Mass 적용한 부가질량 고려

3.4 Internal wall 의 corrugated wall 강성 적용

최근 각 조선사에서는 생산성 향상의 일환으로 deckhouse 구역에 Corrugated wall 을 확대 적용하고 있다. Corrugated wall 은 상부 하중에 의한 panel 의 bending mode 의 Bending 강성을 증가시키기 위해 Inner wall 에 적용 되고 있다.

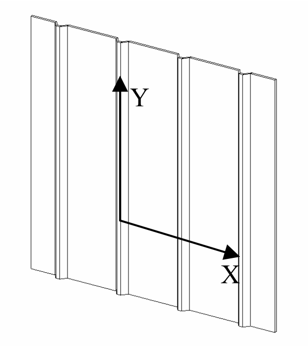

Fig. 9 Internal wall 에 적용되는 Corrugated wall

Fig. 9 에서 알 수 있듯이 corrugated wall 은 파면과 평면으로 이루어져 있다. Y 축 강성 에 비해 X 축 방향으로의 인장강성은 파면 부분의 영향으로 동일 면적의 일반 보강 판에 비해 작아진다. 또한, 전단강성 역시 파면의 영향으로 작아진다.

최근 발표된 여러 논문에 의하면 corrugated wall 적용 여부에 따라 고유치 및 응답에 다소 차이가 있음을 보이고 있다. corrugated wall 의 물성치 획득 방법은 크게 다음과 같다.

- GL 식 적용
- Asokendo theory 적용
- Takeda 식 적용

선급인 GL 은 Dr. Border Hinrichsen 의 Corrugated wall 강성 추정 식을 이용하여 다음과 같은 방법으로 Corrugated wall 의 강성을 구현 하였다.

$$t = F \cdot t_w\,, \quad E_n = \frac{E_{steel}}{25 \cdot F}$$

$$E_s = E_{steel} = 2.06\text{E}11\,, \quad \nu_{ns} = 0.3$$

$$G' = \frac{G_{steel}}{F^2}$$

$$t_w : thickness \;\; of \;\; swage \;\; plating = 0.006$$

$$F : ratio \text{"} true \; length \; swage \; cross \; section \; per \; projected \; length \text{"}$$

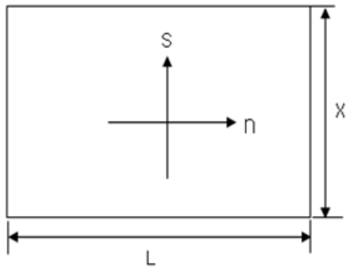

Fig. 10 GL 식 에서 사용된 Corrugated wall model

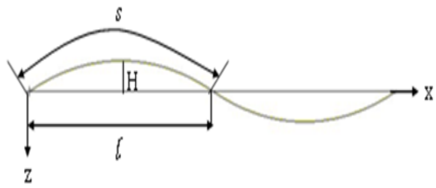

Fig. 11 GL 식 에서 사용된 Corrugated wall 의 파형

Fig.11 에서 알 수 있듯이 변수 F 는 s/l 이며, 식에서 파형 방향의 Young ' s modulus (En) 에서 보정치 ' 25 ' 는 다음의 F.E model 에 의해 산정된 식이다.

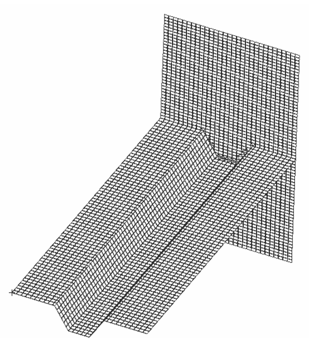

Fig. 12 GL 식 에서 사용된 Corrugated wall 의 F.E model

그 외의 다른 인자들은 경험 식을 통한 보정치 이다. 하지만 위의 보정치는 형상과 치수에 dominant 하다.

위와 같은 방식으로 YU Takeda(IHI, TEAM 2006conference) 는 F.E model 을 이용하여 다음과 같이 Shear rigidity 를 유도하였다.

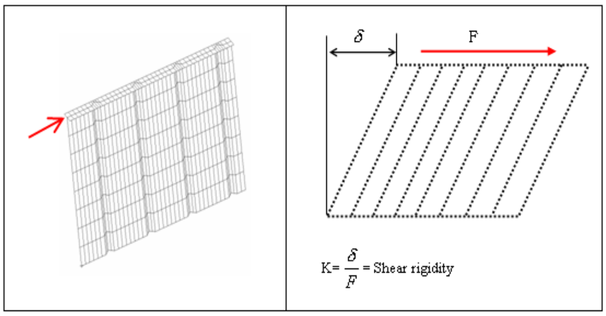

Fig. 13 Takeda 식 에서 Shear rigidity 획득을 위해 사용된 Corrugated wall model

Takeda 식 역시 사용된 Corrugated wall 의 치수에 따라 Shear rigidity 가 결정되는 단점이 있다. 앞에서 언급한 세 가지 방법 중 Corrugated wall 의 치수에 상관 없이 강성 요소를 추출할 수 있는 방법은 다음에 언급할 Asokendo theory 이다.

Asokendo theory 의 기본 가정은 파면 방향의 인장력 만 작용하고 파면에 수직 방향 인장력은 없다고 하면 내부 응력은 다음과 같이 압축된다

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

$$A_{11} = \frac{E_x t}{1-\nu_1\nu_2}, \quad A_{12} = \nu_{21}A_{11}, \quad A_{22} = \frac{E_y}{E_1}.A_{11}, \quad A_{33} = \frac{G_{xy}}{E_1}.A_{11}$$

ν : *Poison's ratio*, E_x, E_y : *Young's modulus*, G_{xy} : *shear modulus*

$$\nu_{12}E_y\varepsilon_x + E_y\varepsilon_y = 0, \quad N_x = \frac{t}{(1-\nu_{12}\nu_{21})}[E_x\varepsilon_x + \nu_{21}E_x(-\nu_{12}\varepsilon_x)] = tE_x\varepsilon_x$$

강성을 추정 하기 위해 다음과 같은 파형 판으로 등가 시켜 각 방향 별 Young ' s modulus 를 구한다.

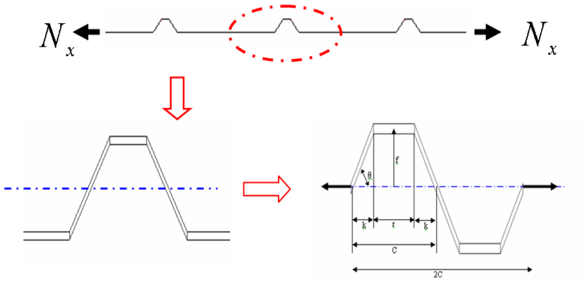

Fig. 14 Asokendo theory 에서 사용된 등가 Corrugated wall

Fig.14 의 등가 Corrugated wall 의 모델을 이용해서 방향별 Strain energy 를 구하고 Beam theory 를 이용하여 강성 요소를 추정한다. 본 논문에서는 Asokendo theory 를 이용하여 Corrugated wall 의 강성 요소를 유도하였다. 강성 적용방법은 Equivalent shell modeling 을 이용하였다.

3.5 영향력 비교

영향 평가 방법은 modal 해석을 통한 고유치 평가와 강제진동 해석을 통한 진동 응답 비교를 이용하였다. 각 인자 별 저 차 hull girder mode 의 고유치 변화는 다음과 같다.

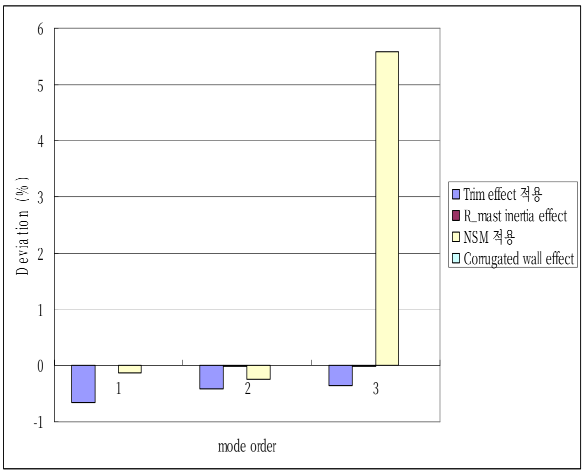

Fig. 15 고유치의 deviation.(Mode - A)

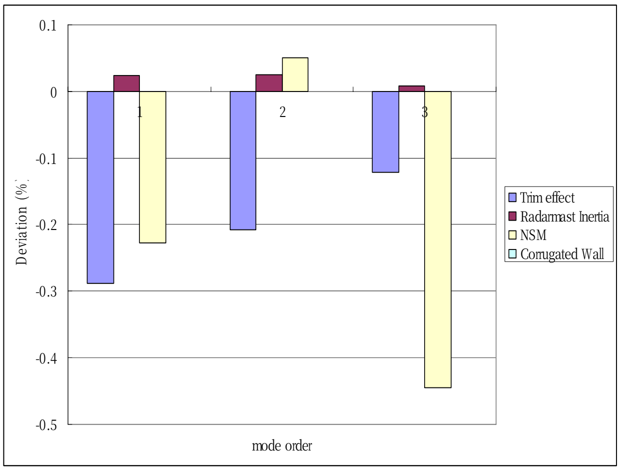

Fig. 16 고유치의 deviation.(Mode - A)

NSM 적용을 제외하면 hull girder 고유치의 변화는 크지 않았다(1% 내외). NSM 적용 시는 mode 에 따라서 deviation 이 커짐을 알 수 있었다. 그 외의 요소들의 영향은 고유치 해석 관점에서는 미미하였다.

강제진동 해석 에서는 다음과 같은 결과를 보였다.

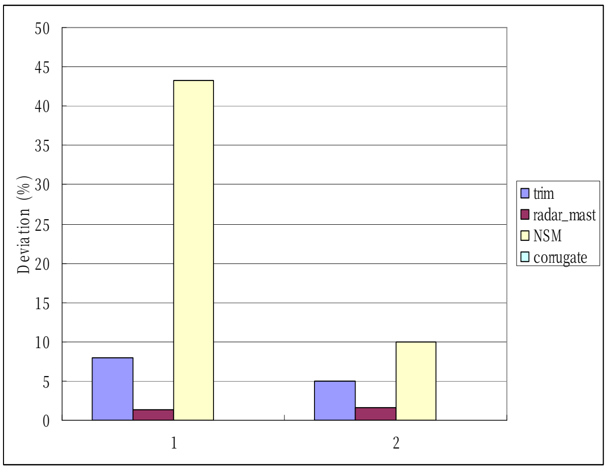

Fig. 17 Nav. Dk center. Longi. 강제진동 응답 Deviation. (Model - A)

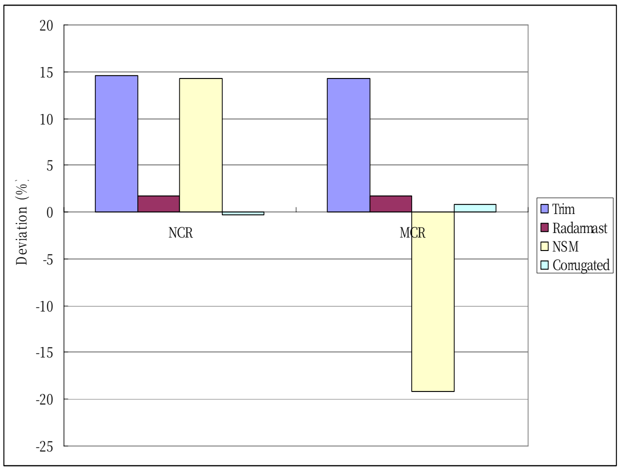

Fig. 18 Nav. Dk center. Longi. 강제진동 응답 Deviation. (Model - B)

Fig. 17, 18 에서 보는 것과 같이 Trim effect, NSM 적용을 제외하면 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문은 그 동안 minor item 으로 간주되어, 통상적인 전선진동 해석의 고려대상에서 제외하였던 요소들을 도출하고, 이를 반영한 결과를 검토 하여 향후 전선진동 해석에 적절히 반영할 수 있는 지의 여부를 결정 하고자 하였다.

위와 같은 배경에 의해 선정된 인자들은 다음과 같다.

- Trim effect
- Radar mast 의 D/H 진동에 미치는 영향
- MSNSM(Non Structural Mass)의 적용
- Internal wall 의 corrugated wall 강성 적용

본 논문에서는 위의 각 인자들을 적용한 전선모델의 고유 진동 해석과 강제 진동 해석을 수행하였고, 그 결과와 위 인자들이 배제된 해석 결과의 Deviation 을 검토 하여 각각의 인자가 전선진동 해석에 미치는 영향을 평가하였다.

이상으로부터 다음과 같이 종합하여 정리할 수 있다.

Trim effect 의 경우 Deckhouse 와 선미가 연성이 크게 되어 나타나는 진동 mode 에는 기존의 해석 결과에 비해 계측치에 더 잘 부합함을 알 수 있었다. 따라서, 향후 전선진동 해석에서는 trim effect 의 효과를 고려하는 것이 더 적합 함을 알 수 있었다.

Radar mast 가 D/H 진동에 미치는 영향은 그 결과가 미미하여 그다지 큰 영향이라고 할 수 없으므로 굳이 해석에 상세한 모델을 포함시킬 필요가 없다.

MSC/NSM(Non Structural Mass)의 적용 의 경우 고유치 해석과 강제진동해석에서 모두 차이를 보이고 있으며 deviation 이 예상보다 매우 크게 나타나고 있다. 그러나, 현 시점에서 즉시 적용하기에는 무리가 있어 향후 NSM 적용을 위한 추가 검토가 필요한 것으로 보인다.

Corrugated wall 은 이방성 재질의 특성을 지니고 있으며 각 방향의 강성 차이가 매우 크게 나타나고 있다. 현재의 선형 해석 Tool 인 NASTRAN 에서는 실제의 강성을 적용하는 경우 해석이 진행되지 않는 점 때문에 적용에 한계가 있었다. PATRAN 에서 지원하는 Equivalent shell 을 적용하는 방법에 대한 study 를 수행하였으며 역시 Extensional rigidity 구현에 있어서 방향성이 없다는 단점이 있었다. 본 연구에서는 Asokendo theory 를 이용하여 구한 Shear modulus 만을 고려 하여 해석을 수행 하였으나, shear modulus 의 차이가 예상보다 적어, 결과 역시 주목할 만한 것은 아니었다. 따라서, 방향에 따른 강성의 차이를 고려할 수 있는 방안에 대한 추가 노력이 필요하다.

결론적으로 Trim effect 는 적용하는 것이 좋으며, Radar mast 는 고려될 필요가 없음을 알 수 있다. NSM(Non Structural Mass), Corrugated wall 의 경우 적용에 관한 지속적인 연구가 필요 함을 알 수 있다.

참고문헌

(1) J.N.Rebby, 1976, “Theory and Analysis of Elastic Plates”, Texas A&M Univercity.

(2) 김병화, 2007, “DECK HOUSE 에 설치된 SWAGE WALL 의 진동강성 평가”, 선박설계연구발표회

(3) 정중현,“Corrugated Wall 의 Deckhouse 적용연구”, 삼성중공업

(4) Yu Takeda, 2005, “Finite Element Modeling for Superstructure Vibration of a VLCC”, TEAM Conference 2005

(5) S.YIANNAKIS, T.J.A. WARD, 2002, “REPORT No. MSG 02/15”, Marine Support Group, Lloyd’s Register.

(6) Robert D. Blevins, 1990, “Flow-Induced Vibration”, VAN NOSTRAND REINHOLD.

(7) MSC software, "Advanced dynamic analysis user’s guide", version 2004.

(8) Asokendo Samanta, "Finite element static and dynamic nalysis of folded plates", Engineering Structure 21 (1999) 277-287.