

선체국부판넬의 진동해석

한 성 용 <삼성중공업(주)>

1. 개요

선체진동은 Hull Girder진동, 선루진동, Mast, 연돌 등의 부구조물 진동, 갑판, 격벽, 외판, 이중저들과 같은 국부판넬 진동 등 매우 다양한 양상으로 나타나고 있다. 이 가운데 국부판넬들은 프로펠러, 주기관 등의 주요 기진원으로 부터 인접구조물을 통해 진동이 전달되어 과도한 진동을 보이는 경우가 많다. 선루의 판넬에 과도한 진동이 발생하는 경우는 승조원의 안락성 저해를 유발하게 되고, 갑판, 화물창 내의 격벽, 웹, 이중저 등에 과도한 진동이 발생하면 Crack이 발생하여 구조물에 심각한 손상을 야기시킨다. 따라서 설계단계에서 국부판넬의 진동특성을 파악하여 이러한 문제를 사전에 예방하는 것이 중요하다.

선체에서의 국부판넬들은 대부분 판, 보강판, 복판판넬 등을 기본요소로 이루어져 있기 때문에, 이들 기본요소들의 진동특성을 정확하게 산정하여 주요 기진원과의 공진 여부를 검토하는 것이 중요하다. 상기 기본요소들의 진동특성을 계산하는 방법으로 기하학적 형상 및 경계조건이 단순한 경우에는 운동방정식의 엄밀해를 이용할 수 있으나 대부분의 경우 근사적인 방법을 적용해야 한다. 근사 방법으로는 유한요소법과 Rayleigh-Ritz 방법이 가장 많이 사용되고 있다. 전자의 방법은 국부판넬형상이 매우 복잡한 경우에 효과적으로 사용될 수 있으나 입력작업이 후자의 방법에 비해 매우 번거로우며, 주로 범용유한요소프로그램을 사용해야 하기때문에 EWS (Engineering Work Station) 이상의 중대형 컴퓨터에서 작업을 해야한다. 후자의 방법은 형상이 매우 복잡한

경우에는 적용하기 어려우나 입력작업이 간단하고 P/C (Personal Computer) 급의 컴퓨터에서도 충분히 작업이 가능하다. 선체의 국부판넬들은 대부분 그 형상이 직사각형 모양을 갖고 있고, 보강재의 배치도 규칙적이기 때문에 후자의 방법을 적용하는 것이 훨씬 효율적인 경우가 대부분이다.

따라서 본 고에서는 선체의 국부판넬들을 구성하고 있는 판, 보강판, 복판판넬, 복합재료적층판 등의 기본요소부재들에 대한 진동해석을 위해 현재까지 이루어진 연구들 가운데 Rayleigh-Ritz방법을 적용한 연구결과들을 정리하기로 한다. 이를 통해 향후 추가로 연구가 이루어져야 할 내용도 함께 도출한다.

2. 평 판

평판진동은 선체에서 보강재들 사이의 판재에서 주로 나타나는 진동으로서 판 두께의 진동과형 반파장에 대한 비에 따라 박판진동과 후판진동으로 구분되는데 그 비가 1/20 이하이면 박판진동으로 볼수 있으며, 일반적으로 鋼船의 선체구조에서 보강재들 사이의 판의 진동은 박판진동으로 간주되는 경우가 많다.

2.1 박판

박판 거동에서는 전단변형 및 회전관성효과가 무시될 수 있기 때문에 굽힘강성만 고려하게 된다. 직사각형 등방성박판의 고유진동수 및 고유진동형은 4 변 경계조건이 마주보는 두변이 단순지인 경우에는 운동방정식으로 부터 Levy's Method에 의해 엄밀해를 구할 수 있다[1]. 그러나 보다 일반적인 경계

조건 즉 4변 경계조건이 모두 자유, 자유와 단순지지의 중간상태, 단순지지와 고정, 고정의 중간상태 또는 모두 고정 등 임의의 경계조건에 대해서는 근사해법에 의해 구해야 한다. 근사해법으로서 형상이 복잡한 경우에는 유한요소법을 사용해야 하나, 선체에서는 대부분 직사각형이므로 이 경우에는 Rayleigh-Ritz방법이 편리하게 사용된다. 상기의 일반적 경계조건을 갖는 직사각형 직교이방성평판에 집중질량, 질량-스프링 계 등이 부가된 경우에 대한 진동해석을 후자의 방법에 의해 수행하는 방법은 [2]에 소개되어져 있다. 이때 진동파형 가정함수는 서로 마주보는 경계면에서와 동일한 경계조건을 갖는 단순보 고유함수의 선형조합으로 나타낸다.

2.2 후판

판의 두께가 진동파형의 반파장의 1/20이상인 경우에 후판진동으로 간주하여 전단변형 및 회전관성 효과를 고려하여야 한다. 이 경우 진동해석은 Mindlin 판 이론을 근간으로 하여 이루어지며 4변 경계조건이 모두 단순지지인 경우에는 운동방정식으로부터 고유치에 대한 엄밀해를 구할 수 있으나, 그 외의 경우에는 근사해법을 사용해야 한다. 근사해법으로는 Rayleigh-Ritz방법이 편리하게 적용될 수 있다. 이때 진동파형 가정함수는 전단변형 및 회전관성 효과를 고려한 Timoshenko 보함수 또는 이의 성질을 갖는 다항식의 선형조합으로 나타내면 정도 높은 결과를 효율적으로 구할 수 있다[3].

3. 팬넬

선체에서 판재와 보강재가 함께 진동하는 경우에 판재와 보강재로 이루어진 팬넬의 진동해석을 수행해야 한다. 예를들면, 선루 내의 갑판, 격벽 또는 화물창 내의 격벽, 이중저, 웨브 등과 같은 팬넬에 대한 진동을 검토해야 한다. 이들 팬넬의 형태는 갑판, 격벽 등과 같은 보강판 구조와, 이중저 구조와 같이 상, 하 판요소와 웨브로 구성된 복판팬넬로 구분될 수 있다. 이들의 진동해석은 근사적 방법에 의해 이루어진다.

3.1 보강판

보강판은 판재에 여러개의 보강재가 취부된 국부 팬넬이며, 이의 진동해석 방법은 팬넬형상 또는 보강재 배치가 매우 불규칙한 경우에는 유한요소법에 의해 수행하나, 그외의 대부분의 경우에는 Rayleigh-

Ritz 방법을 적용하는 것이 편리하다.

보강판의 진동해석을 위한 모델링 방법으로 크게 두가지 방법이 널리 사용된다. 하나는 보강재 효과를 보강재 취부선상에 집중시켜 보강판을 등방성평판과 보강재집중효과를 반영한 보요소로 이루어진 계로 취급하는 방법이고, 다른 하나는 보강재효과를 각 방향에 따라 판 전역에 분포시켜 직교이방성 평판으로 취급하는 방법이다. 전자의 방법이 보강재 배열이 촘촘하지 않거나 불규칙한 경우에도 적용될 수 있는 보다 일반적인 방법이다. 이때 보강재 집중효과를 나타내는 보요소의 굽힘 및 비틀강성 계수는 다음식으로부터 구한다.

$$EI = EI_o + \frac{Esh_e^2}{1-v^2}$$

$$GJ = G \sum_j \frac{d_j t_j^3}{3}$$

여기서 E, G, v 는 보강재 재료의 탄성계수, 전단계수, 및 Poisson 비, I_o 는 Fig. 1에서 보여주는 조합중립축에 대한 보강재만의 단면2차모멘트이고, 나머지 기호들은 Fig.1에 나타나 있다.

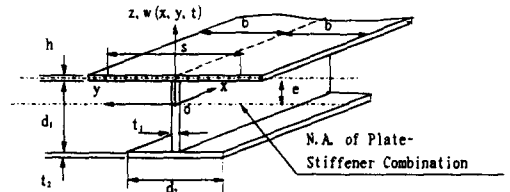


Fig. 1 A stiffened plate strip

4변이 횡방향 및 회전방향으로 탄성구속된 일반적인 경계조건을 갖고 각종 부가물이 있는 보강판에 대해 상기 두가지 모델링 방법을 사용하여 Rayleigh-Ritz방법으로 진동해석하는 방법은 [2]에 소개되어 있으며, 진동파형 가정함수는 서로 마주보는 경계면에서와 동일한 경계조건을 갖는 단순보 고유함수의 선형조합으로 나타낸다.

3.2 복판팬넬

선체의 이중저구조와 같이 상, 하 판요소와 그 가운데 웨브 등이 취부된 복판팬넬의 경우에는 전단변형 및 회전관성 효과가 고려되어야 하며, 비틀강성평가도 적정하게 이루어 져야 한다.

이러한 복판팬넬의 진동해석 방법으로서, 구조 전

체에 대해 판요소를 사용한 3차원 모델링을 하여 유한요소법을 적용하는 방법과 강성 및 관성평가를 적절히하여 직교이방성 Mindlin판 또는 웨브의 집중효과를 Timoshenko보로 반영한 판-보 조합체로 모델링하여 Rayleigh-Ritz 방법을 적용하는 방법이 있다. 후자의 방법을 적용하는 경우에 진동과형의 가정은 서로 마주보는 경계면과 동일한 경계조건을 갖는 Timoshenko 보 고유함수 또는 이의 성질을 갖는 다항식의 선형조합으로 나타내면 정도 높은 결과를 효율적으로 구할 수 있다[4].

4. 복합재료적층판

복합재료적층판은 일반적으로 이방성이고 전단탄성계수의 인장탄성계수에 대한 비가 강판 등 일반구조용 판재에 비해 매우 작아 전단변형효과가 크고 또한 단면의 회전관성효과도 무시할 수 없기 때문에 이방성 후판 이론의 도입이 필요하다. 이러한 복합재료적층판의 진동특성은 4변 경계조건이 모두 단순지지인 경우에 운동방정식의 엄밀해로부터 구할 수 있으나 그 외의 경우에는 근사해법을 사용해야 한다. 근사해법으로는 Rayleigh-Ritz방법이 편리하게 적용될 수 있다. 이때 진동과형의 가정은 서로 마주보는 경계와 동일한 경계조건을 갖는 Timoshenko 보함수 또는 이의 성질을 갖는 다항식의 선형조합으로 이루어진다[5].

5. 결 언

본 고에서는 선체국부판넬의 대중을 이루고있는 판요소, 보강판, 복판판넬 및 복합재료적층판의 진동특성을 구하는 근사방법으로서 주로 Rayleigh-Ritz 방법을 적용한 연구결과들을 정리하였다. 이를 통해 향후 추가로 연구가 이루어져야 할 내용을 다음과 같이 도출하였다.

- (1) 판넬주위의 경계조건으로서 탄성구속을 고려할 수 있도록 정식화는 이루어져 있으나 실제 선체 판넬의 탄성구속도를 구하는 방법이 정

립되어 있지 못하기 때문에 해석결과의 정도 문제가 발생한다. 따라서 해석정도의 향상을 위해 실제 선체판넬의 탄성구속도에대한 연구가 수행되어야 하며, 이와같은 연구는 조선소에서 이루어지는 것이 타당한 것으로 사료된다.

- (2) Mindlin 판, 복합판넬, 복합재료적층판에 대한 정식화에서 경계조건이 회전방향탄성고속만 고려되고 횡방향 변위는 고정되어 자유와 단순지지 사이의 경계조건은 고려될 수 없으므로 이에대한 보완 연구가 이루어져야 한다.
- (3) 본 고에서는 점수효과에 대한 연구결과의 소개는 없었으나, 이에대한 현재까지의 연구는 주로 평판에 대해 이루어졌다. 화물창내 국부판넬 또는 이중저의 진동해석을 정도 높게 수행하기 위해서는 보강판 및 복판판넬의 점수효과에 대한 연구가 적극적으로 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Szilard R., *Theory and Analysis of Plates*, Prentice-Hall, INC., 1974.
- [2] 한성용 등, "일반적 주변탄성지지 및 각종 부가물을 고려한 직사각형 국부판넬의 진동해석", 대한조선학회 추계연구발표회 논문집, 1992, pp.95-101.
- [3] 정정훈 등, "Timoshenko 보함수 성질을 갖는 다항식을 이용한 Mindlin판 유추 구조계의 진동해석", 대한조선학회 논문집 제29권 제1호, 1992, 3권, pp.158-172.
- [4] 정태석 등, "복합판넬의 진동해석", 대한조선학회 추계연구발표회 논문집, 1990, pp. 303-308.
- [5] 정태영 등, "대칭 복합적층 직사각형판의 진동해석", 대한조선학회 논문집 제29권 제3호, 1992, 8월, pp.140-148.